

ISSN 2500-2082

Номер 2

Март–Апрель 2024

Научно–теоретический журнал

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

www.vestnik-rsn.ru

DOI: 10.31857



НАУКА
— 1727 —

$$Z_m^T(y, h) = P_m W(X_m(y, h))$$

$$F = -D \frac{dc}{dx} \approx -D \frac{c_2 - c_1}{l}$$

$$P = (m/h) \cdot x \cdot 100\%$$



Рис. 1. Состояние листьев у *Grossularia robusta* (а) и межвидовых гибридов F1, F2 (б), полученных с участием *Grossularia robusta* (отсутствуют признаки поражения листовыми пятнистостями).

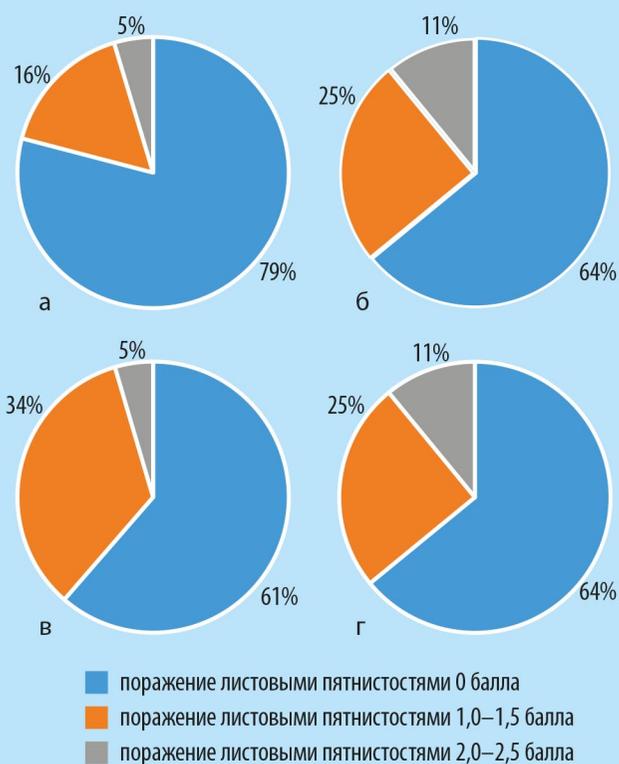


Рис. 2. Процент пораженных листовыми пятнистостями семян из гибридных семей в 2019–2021 годах: а – 258 (13-15-1 × *Grossularia robusta*), б – 288 (151-НС-7 × *Grossularia robusta*), в – 250 (23-17-10 × *Grossularia robusta*), г – 283 (142-х36-12 × *Grossularia robusta*).

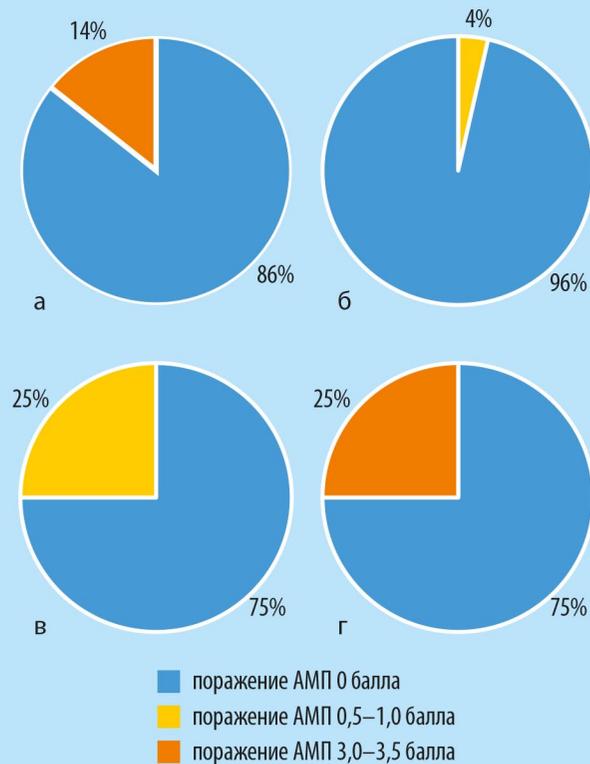


Рис. 3. Процент пораженных АМП семян из гибридных семей в 2021 году: а – 263 (24-14-23 × *Grossularia robusta*), б – 288 (151-НС-7 × *Grossularia robusta*), в – 289 (152-х32-23 × *Grossularia robusta*), г – 282 (152-х32-24 × *Grossularia robusta*).



Рис. 6. Плоды отборного сеянца F2 9-283(2)-1(6) (142-х36-12 × *Grossularia robusta*).

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL
VESTNIK OF THE RUSSIAN AGRICULTURAL SCIENCE

№ 2 — Март-Апрель — 2024
March-April

Издается с января 1992 года. Выходит 6 раз в год.
ISSN 2500-2082

© Российская академия наук, 2024
© «Вестник российской сельскохозяйственной науки», 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик РАН Н.К. Долгушкин

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
академики РАН

Авидзба А.М. (Национальный НИИ винограда и вина «Магарач»),
Горлов И.Ф. (Поволжский НИИ производства и переработки мя-
сомолочной продукции), **Иванов А.Л.** (Почвенный институт имени
В.В. Докучаева), **Измайлов А.Ю.** (Федеральный научный агроин-
женерный центр РАН), **Каракотов С.Д.** (АО «Шелково Агрохим»),
Кашеваров Н.И. (Сибирский федеральный научный центр агро-
биотехнологий РАН), **Кулик К.Н.** (Федеральный научный центр
агроэкологии РАН), **Ван Мансвелт Ян** (Нидерланды), **Петров А.Н.**
(Всероссийский НИИ технологий консервирования), **Попов В.Д.**
(Институт агроинженерных и экологических проблем сельско-
хозяйственного производства), **Савченко И.В.** (Всероссийский
НИИ лекарственных и ароматических растений), **Синеговская В.Т.**
(Всероссийский НИИ сои), **Фисинин В.И.** (Федеральный научный
центр «ВНИТИП» РАН), **Якушев В.П.** (Агрофизический НИИ)

члены-корреспонденты РАН

Асеева Т.А. (Хабаровский ФИЦ ДВО РАН Дальневосточный
НИИСХ), **Багиров В.А.** (Департамент координации деятельности
организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства
науки и высшего образования РФ)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР – С.Л. Сенина

Журнал в виде отдельной базы данных Russian Science Citation Index (RSCI) размещен на платформе Web of Science. Зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и в Международной информационной системе AgriS, а также включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук, отнесен к первой категории (К1) журналов.

Полные тексты статей размещаются на сайте научной электронной библиотеки: elibrary.ru

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 32 А,
Отделение сельскохозяйственных наук РАН, оф. 1023
Тел.: 8 (495) 938-17-51, 8 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
Website: www.vestnik-rsn.ru

Published January 1992. Published 6 times a year.
ISSN 2500-2082

EDITOR
Academician of the RAS N.K. Dolgushkin

EDITORIAL BOARD:
Academician of the RAS

Avidzba A.M. (National Institute of Vine and Wine “Magarach”), **Gorlov I.F.** (Povolzhskiy (Volga) Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products), **Ivanov A.L.** (Soil Institute named after V. V. Dokuchayev), **Izmajlov A.Ju.** (Federal Scientific Agroengineering center RAS), **Karakotov S.D.** (JSC “Shchelkovo Agrokhim”), **Kashevarov N.I.** (Siberian Federal Scientific center of Agrobiotechnology of RAS), **Kulik K.N.** (Federal Scientific center of Agroecology RAS), **J.D. van Mansvelt** (Netherlands), **Petrov A.N.** (All-Russian Research Institute of Canning Technology), **Popov V.D.** (Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural production), **Savchenko I.V.** (All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants), **Sinegovskaya V.T.** (All-Russian Research Institute of Soy), **Fisinin V.I.** (Federal Scientific Center “VNITIP” RAS), **Yakushev V.P.** (Agrophysical Research Institute)

Corresponding member of the RAS

Aseeva T.A. (Khabarovsk FRC FEB RAS Far Eastern Agricultural Institute), **Bagirov V.A.** (Department of coordination of organizations in the field of agricultural Sciences of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation)

EXECUTIVE EDITOR – S.L. Senina

The journal to a separate database of RSCI posted on the Web of Science platform. Registered in the Russian science citation index (RSCI) and the International information system AgriS.

Full texts of articles are placed on the website of electronic library: elibrary.ru

Address: 119334, Moscow, Leninsky prospekt, 32 A,
Department of Agricultural Sciences of the RAS, of. 1023
Tel.: +7 (495) 938 17-51, +7 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
Website: www.vestnik-rsn.ru

Содержание / Contents

● РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ / CROP PRODUCTION AND SELECTION

- 4** Шихмуратов А.З., Магомедов М.М. / Shikhmuradov A.Z., Magomedov M.M.
Сравнительная характеристика новейших образцов пшеницы твердой по комплексу агробиологических признаков / Comparative characteristics of the durum wheat newest samples based on a complex of agrobiological characteristics
- 8** Дубина Е.В., Макуха Ю.А., Гаркуша С.В. и др. / Dubina E.V., Makukha Yu.A., Garkusha S.V. et al.
Молекулярное маркирование в селекции капусты белокочанной на устойчивость к альтернариозу / Molecular marking in a white cabbage selection for resistance to Alternaria blight
- 11** Захаров В.Л., Моргачёва Н.В., Сотникова Е.Б., Щучка Р.В. / Zakharov V.L., Morgacheva N.V., Sotnikova E.B., Shchuchka R.V.
Шкально-биометрические основы биоиндикации почв для сеянцев яблони / Scale and biometric basis of soil bioindication for apple seedlings
- 15** Лаврусевич Н.Г., Бородкина А.Г., Зубкова М.А. / Lavrusevich N.G., Borodkina A.G., Zubkova M.A.
Характеристика микроспорогенеза у тетраплоида яблони и его родительской формы в связи с использованием в селекции на полиплоидном уровне / Characteristics of microsporogenesis in the triploid apple tree and its parental form in connection with usage in breeding at the polyploid level
- 20** Курашев О.В., Ожерельева З.Е., Князев С.Д. / Kurashev O.V., Ozhereleva Z.E., Knyazev S.D.
Межвидовое скрещивание в селекции крыжовника как основа создания сортов промышленного типа / Interspecific crossing in gooseberry breeding as the basis for the industrial-type varieties creation
- 26** Ханиева И.М., Хамокова И.М., Джуртубаев А.Н., Коков Т.А. / Khanieva I.M., Khamokova I.M., Dzhurtubaev A.N., Kokov T.A.
Совершенствование технологии возделывания проса в Кабардино-Балкарской Республике / Improvement millet cultivation technology in the Kabardino-Balkarian Republic
- 30** Синеговская В.Т., Фокина Е.М., Душко О.С. / Sinegovskaya V.T., Fokina E.M., Dushko O.S.
Использование физиологических методов в создании сортов сои / The usage of physiological methods in the creation of soybean varieties
- 36** Лукашина А.А. / Lukashina A.A.
Изменение структуры урожая кукурузы в зависимости от генетических особенностей, фона минерального питания и сроков посева в Хабаровском крае / Changes in the corn yield structure depending on genetic characteristics, background mineral nutrition and sowing time in the Khabarovsk Krai
- 42** Абдулнатипов М.Г., Гасанов Г.Н., Усманов Р.З., Мусаев М.Р. / Abdulnatipov M.G., Gasanov G.N., Usmanov R.Z., Musaev M.R.
Водопотребление кукурузы при разных способах основной обработки почвы после пропашных предшественников при энергонакопительной системе содержания почвы / Water consumption of corn under different methods of primary tillage after row-crop predecessors on an energy-storage soil maintenance system
- 48** Свириденко Д.Г., Арышева С.П., Суслов А.А. и др. / Sviridenko D.G., Arysheva S.P., Suslov A.A. et al.
Эффективность ФосАгро NPK и Гумитона при возделывании картофеля в условиях радиоактивного загрязнения почв / Effectiveness of PhosAgro NPK and Gumiton under cultivating potatoes in radioactive soil contamination conditions

● ЗЕМЛЕДЕЛИЕ/ FARMING

- 53** Савченко Е.С., Лукин С.В., Сергеев М.В. / Savchenko E.S., Lukin S.V., Sergeev M.V.
Опыт внедрения системы земледелия No-till в Белгородской области / Experience in implementation of No-till farming system in the Belgorod region
- 59** Соловьев Д.А., Фомичева Н.В. / Soloviev D.A., Fomicheva N.V.
Фитотестирование как метод оценки качества почвогрунтов / Phytotesting as a method for soil quality assessing

● ЗООТЕХНИЯ/ ZOOTECNICS

- 64** Иващенко М.Н., Дерюгина А.В., Белов А.А. и др. / Ivashchenko M.N., Deryugina A.V., Belov A.A. et al.
Коррекция молекулярным водородом метаболических и структурных нарушений в сперматозоидах быков при криоконсервации / Correction of metabolic and structural disorders in bull spermatozooids during cryopreservation using molecular hydrogen
- 68** Полякова В.С., Нечитайло К.С., Сизова Е.А. / Polyakova V.S., Nechitailo K.S., Sizova E.A.
Изучение совместного влияния экстракта коры *Quercus cortex* с ферментной добавкой на гематологические показатели крови и рост цыплят-бройлеров / Study of the *Quercus cortex* extract combined effect with an enzyme supplement on hematological blood parameters and broilers chicken growth
- 74** Смарагдов М.Г. / Smaragdov M.G.
Функциональная роль генов в РОН островках у кур породы Чешская Золотистая / Functional role of genes in RОН sites in Czech Golden chickens
- 79** Рахматуллин Э.К., Кадиков И.Р., Куршакова Е.И. и др. / Rakhmatullin E.K., Kadikov I.R., Kurshakova E.I. et al.
Современные проблемы доклинического изучения кормовых добавок для животных и пути их решения / Modern problems of preclinical studying feed additives for animals and ways to solve them
- 84** Домацкий В.Н., Сивкова Е.И. / Domatsky V.N., Sivkova E.I.
Анализ паразитологической ситуации по эймериозу крупного рогатого скота в Российской Федерации / Analysis of the parasitological situation regarding eimeriosis in cattle in the Russian Federation

● ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEER SYSTEMS

- 89** Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Тетерин В.С. и др. / Sibirev A.V., Aksenov A.G., Teterin V.S. et al.
Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля / Forecasting the level of biological risks of the emergence and spread of infectious and parasitic potato diseases

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-63276 от 06 октября 2015 г.,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 00.00.2024. Дата выхода в свет 00.00.2024. Формат 60×88 1/8.
Усл. печ. л. 00,00. Уч.-изд. л. 00,00. Заказ № 00. Тираж 00 экз. Бесплатно.

Учредитель: Российская академия наук

16+

Издатель: Российская академия наук, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 14

Исполнитель: ФГБУ «Издательство «Наука»: 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.
Отпечатано в ФГБУ «Издательство «Наука»: 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЕЙШИХ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ ТВЕРДОЙ ПО КОМПЛЕКСУ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ*

Асеф Зилфикарович Шихмуратов, доктор биологических наук
Магомед Махмудович Магомедов, старший научный сотрудник
Дагестанская ОС ФГБНУ «ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова», Дербентский р-н, Республика Дагестан, Россия
E-mail: asef121263@mail.ru

Аннотация. В 2020–2022 годах на Дагестанской ОС филиала ВИР в условиях орошения при озимом посеве изучили 30 образцов пшеницы твердой разного эколого-географического происхождения (Россия, Австрия, Мексика, Сирия, Египет). В качестве стандартов высевали сорта к-66674 Одари, к-67482 Ярина (Краснодарский край) и к-32453 Дербентская черноколосая (Республика Дагестан). За три года изучения дана полевая и лабораторная оценка по следующим признакам: длина вегетационного периода, устойчивость к грибным болезням (мучнистая роса, бурая и желтая ржавчины) и к полеганию, масса зерна с единицы площади (1 м²), масса 1000 зерен, число зерен в одном колосе и масса зерна с одного колоса. Рекомендованы сорта как источники селекционно ценных признаков (скороспелость, продуктивность, крупнозерность) для дальнейшего использования в селекционно-генетических программах по созданию новых адаптивных сортов.

Ключевые слова: твердая пшеница, сорт, селекция, продуктивность, скороспелость, устойчивость, грибные болезни, полегание

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE DURUM WHEAT NEWEST SAMPLES BASED ON A COMPLEX OF AGROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS

A.Z. Shikhmuradov, *Grand PhD in Biological Sciences*
M.M. Magomedov, *Senior Researcher*
Dagestan OS FGBNU “FIT of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov”,
Derbent district, Republic of Dagestan, Russia
E-mail: asef121263@mail.ru

Abstract. In 2020–2022 at the Dagestan experimental station of the VIR branch 30 samples of durum wheat of different ecological and geographical origins (Russia, Austria, Mexico, Syria, Egypt) were studied under irrigation conditions under winter sowing. The k-66674 Odari, k-67482 Yarina (Krasnodar Territory) and k-32453 Derbentskaya Chernokolosaya (Republic of Dagestan) varieties were sown as standard samples. Over three years of study, a field and laboratory assessment were given for the following characteristics: length of the growing season, resistance to fungal diseases (powdery mildew, brown and yellow rust) and lodging, grain weight per unit area (1 m²), weight of 1000 grains, number of grains in one ear and the mass of grain from one ear. The varieties are recommended as sources of breeding valuable traits (earliness, productivity, large grain size) for further use in breeding and genetic programs for the creation of new adaptive varieties.

Keywords: durum wheat, variety, selection, productivity, early ripening, resistance, fungal diseases, lodging

Пшеница твердая (*T. Durum* Desf.) имеет большое производственное значение, занимает второе место в мире (после пшеницы мягкой) по посевным площадям. Масштабное, планомерное формирование мировой коллекции пшеницы как исходного материала заложено Н.И. Вавиловым в начале XX века. Скороспелость — один из ведущих признаков, которым определяется пригодность сорта к его возделыванию в конкретных природно-климатических условиях. Основной момент селекции пшеницы — длина вегетационного периода.

Сочетание в одном сорте сравнительно короткого вегетационного периода с высокой продуктивностью, устойчивостью к полеганию и болезням, а также небольшой требовательностью к теплу в начальные фазы развития поможет решить проблемы, стоящие перед сельским хозяйством. [1, 2]

Цель работы — изучить 30 новейших образцов пшеницы твердой разного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ВИР и выделить источники по комплексу хозяйственно ценных признаков для дальнейшего использования в селекционно-генетических программах создания новых адаптивных сортов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на Дагестанской опытной станции — филиал ВИР (2020–2022 годы). Объект изучения — 30 образцов пшеницы твердой из мировой коллекции ВИР.

Закладку полевых опытов и лабораторно-полевую оценку проводили в соответствии с Методическими указаниями ВИР. [3] Результаты статисти-

* Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР (№s/EGEM 2022-0009) / The work was performed within the framework of the VIR state assignment (EGEM no. 2022-0009).

чески обрабатывали по Б.А. Доспехову. В качестве стандартов использовали допущенные в производство для Северного Кавказа сорта озимой пшеницы твердой – *Одари*, *Ярина* (ФГБНУ НЦ зерна имени П.П. Лукьяненко) и *Дербентская черноколосая* (Республика Дагестан).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Скороспелость. Скороспелые сорта нужны не только для северных, южных или юго-восточных районов, но и повсеместно для промежуточных посевов в севооборотах. Скороспелость, как и любое другое свойство растений, привлекает внимание только при сочетании с другими хозяйственно ценными признаками. Длительность вегетационного периода складывается из последовательно сменяющихся этапов органогенеза, главные – всходы-колошение и колошение-созревание. Известно, что фаза всходы-созревание тесно коррелирует с периодом всходы-колошение. [4]

Колошение у изученных нами образцов наступало 04.05...18.05. По скороспелости выделились образцы:

и-628825, и-628828, и-628833 (Мексика), и-629309 (Египет), сроки колошения 04.05...09.05. В основном все образцы выделены как среднеспелые, колошение у стандартов приходится на 11.05...19.05. (табл. 1).

Грибные болезни. Создание устойчивых сортов к грибным болезням – актуальная проблема в селекции растений. В ряде стран, в том числе и нашей, создано немало устойчивых к грибным болезням сортов. Решающий метод – выведение иммунных сортов с использованием природного иммунитета.

Наибольший вред зерновым культурам наносят мучнистая роса, бурая и желтая ржавчины. Бурая ржавчина широко распространена в нашей стране, особенно на Северном Кавказе, в Центрально-Черноземном районе и Поволжье. Желтая ржавчина встречается реже, ее развитие зависит от погодных условий. Большой вред она причиняет в предгорной части Северного Кавказа, в том числе и Дагестане. Зона наибольшей вредоносности мучнистой росы – Северный Кавказ.

Селекция на устойчивость к грибным заболеваниям – основной вид защиты растений от болезней.

Таблица 1.

Скороспелость и устойчивость изученных образцов пшеницы твердой к различным заболеваниям по годам

№ в каталоге ВИР	Происхождение	Сорт	Дата колошения			Устойчивость, балл								
			2020	2021	2022	мучнистая роса			бурая ржавчина			желтая ржавчина		
						2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
66674	Краснодарский край	<i>Одари</i>	16.05.	16.05.	14.05.	9	9	9	9	9	9	9	9	9
67482		<i>Ярина</i>	16.05.	16.05.	11.05.	9	9	9	9	9	9	9	9	7
32453	Республика Дагестан	<i>Дербентская черноколосая</i>	14.05.	17.05.	15.05.	7	9	9	9	9	7	7	5	
159206	Тамбовская обл.	<i>RL 1443(08)</i>	18.05.	18.05.	18.05.	7	7	9	9	9	7	7	5	
159207		<i>RL 2034 (08)</i>	12.05.	18.05.	14.05.	7	7	7	9	9	7	5	7	
628825	Мексика	<i>Barwing 1</i>	04.05.	09.05.	06.05.	7	9	9	9	9	7	9	9	
628828		<i>Pod 16 (PODICEPS_16)</i>	06.05.	10.05.	07.05.	7	9	9	9	9	7	9	7	
628833		<i>Sark4 (SARKILIORNIS 4)</i>	09.05.	09.05.	06.05.	7	7	9	9	9	7	9	9	
629309	Египет		04.05.	05.05.	05.05.	7	5	7	9	9	7	7	5	
629352	Сирия		12.05.	17.05.	15.05.	7	7	7	9	9	7	7	5	
66673	Краснодарский край	<i>Круча</i>	12.05.	14.05.	15.05.	7	7	9	9	9	7	7	9	
66674		<i>Одари</i>	12.05.	16.05.	15.05.	7	9	9	9	9	7	9	9	
66675		<i>Ясенка</i>	14.05.	18.05.	15.05.	7	5	7	9	9	7	5	5	
66745	Ростовская обл.	<i>Золото Дона</i>	14.05.	16.05.	14.05.	9	9	9	9	9	7	7	9	
66746		<i>Янтарина</i>	14.05.	16.05.	13.05.	9	9	9	9	9	7	5	7	
66747		<i>Улада</i>	12.05.	15.05.	18.05.	7	9	9	9	9	7	7	7	
66748		<i>Юбилярка</i>	14.05.	16.05.	15.05.	9	9	9	9	9	7	7	7	
66858	Австрия	<i>Тессадур</i>	13.05.	15.05.	12.05.	9	9	7	9	9	7	7	7	
66885	Саратовская обл.	<i>Гусельская</i>	12.05.	17.05.	12.05.	7	9	7	9	9	7	5	7	
66886		<i>Памяти Васильчука</i>	16.05.	18.05.	19.05.	7	7	7	9	9	9	7	5	
66887	Воронежская обл.	<i>Воронежская 13</i>	15.05.	18.05.	16.05.	7	7	7	9	9	9	5	7	
66996	Омская обл.	<i>Омский коралл</i>	15.05.	20.05.	12.05.	9	9	7	9	9	9	7	5	
66697	Московская обл.	<i>Ступинская 64</i>	10.05.	14.05.	12.05.	7	5	7	9	9	9	5	7	
67009	Оренбургская обл.	<i>Меляна</i>	10.05.	18.05.	14.05.	7	7	7	9	9	9	7	7	
67010		<i>Солис</i>	09.05.	16.05.	09.05.	7	7	7	9	9	9	3	5	
67011		<i>Меллис</i>	10.05.	16.05.	13.05.	7	7	7	9	9	9	9	7	
67012		<i>Целина</i>	14.05.	18.05.	14.05.	7	7	7	9	9	9	5	7	
66674	Краснодарский край	<i>Одари</i>	16.05.	14.05.	13.05.	9	9	9	9	9	9	9	9	
67482		<i>Ярина</i>	16.05.	15.05.	11.05.	9	9	7	9	9	9	7	7	
32453	Республика Дагестан	<i>Дербентская черноколосая</i>	14.05.	19.05.	13.05.	7	7	7	9	9	9	5	5	

Таблица 2.

Устойчивость к полеганию и основные показатели структуры урожая изученных образцов по годам

№ в каталоге ВИР	Происхождение	Сорт	Устойчивость к полеганию, балл			Масса зерна с делянки, г				Высота растения, см				Масса 1000 зерен, г	Число зерен с одного колоса, шт.	Масса зерна с колоса, г
			2020	2021	2022	2020	2021	2022	средняя	2020	2021	2022	средняя			
66674	Краснодарский край	<i>Одари</i>	9	9	9	405	410	410	408	100	100	95	98	40	45	1,8
67482		<i>Ярина</i>	5	3	7	605	745	560	637	120	120	130	123	40	45	1,8
32453	Республика Дагестан	<i>Дербентская черноколосая</i>	5	3	5	305	360	425	363	135	130	155	140	38	49	1,9
159206	Тамбовская обл.	<i>RL 1443(08)</i>	7	3	7	230	280	225	245	135	125	150	137	31	34	1,1
159207		<i>RL 2034 (08)</i>	5	3	7	270	300	305	292	140	145	145	143	36	36	1,3
628825	Мексика	<i>Barwing 1</i>	9	5	9	220	800	550	523	100	105	110	105	49	41	2
628828		<i>Pod 16 (PODICEPS_16)</i>	9	5	9	350	640	650	547	100	100	105	102	38	46	1,7
628833		<i>Sark 4 (SARKILIORNIS_4)</i>	9	7	9	125	405	485	338	80	95	100	92	37	55	2
629309	Египет		9	9	9	330	395	255	327	90	95	95	93	31	34	1
629352	Сирия		5	3	5	305	125	265	232	130	120	150	133	41	46	1,9
66673	Краснодарский край	<i>Круча</i>	9	9	9	460	605	395	487	95	110	100	102	52	44	2,3
66674		<i>Одари</i>	9	9	9	500	415	560	492	90	95	95	93	46	49	2,2
66675		<i>Ясенка</i>	7	7	7	525	435	480	480	125	120	140	128	36	50	1,8
66745		<i>Золото Дона</i>	9	9	9	445	460	415	440	105	110	105	107	48	44	2
66746		<i>Янтарина</i>	9	9	9	475	360	480	438	100	105	95	100	48	59	2,8
66747	Ростовская обл.	<i>Улада</i>	9	9	9	550	310	480	447	100	100	105	102	47	51	2,4
66748		<i>Юбилярка</i>	9	9	9	480	400	360	413	100	100	100	100	47	52	2,5
66858		<i>Тессаур</i>	9	3	9	560	455	340	452	100	105	100	102	40	38	1,5
66885	Саратовская обл.	<i>Гусельская</i>	7	3	7	410	220	330	320	135	125	160	140	39	43	1,7
66886		<i>Памяти Васильчука</i>	5	3	5	280	275	235	263	145	130	155	143	36	44	1,6
66887		<i>Воронежская 13</i>	5	3	7	355	220	385	320	125	125	150	133	36	41	1,5
66996	Омская обл.	<i>Омский коралл</i>	7	3	7	420	230	160	270	140	120	150	137	31	41	1,3
66697	Московская обл.	<i>Ступинская 64</i>	5	3	7	395	305	375	358	140	130	155	142	51	49	2,5
67009	Оренбургская обл.	<i>Меляна</i>	5	3	5	445	290	230	322	135	125	145	135	35	44	1,5
67010		<i>Солис</i>	5	3	7	320	170	300	263	135	135	160	143	22	53	1,2
67011		<i>Меллис</i>	7	3	7	485	170	340	332	135	105	150	130	39	49	1,9
67012		<i>Целина</i>	7	3	7	450	350	380	393	135	125	150	137	39	52	2
66674	Краснодарский край	<i>Одари</i>	9	9	9	420	565	335	440	100	100	90	97	46	54	2,5
67482		<i>Ярина</i>	5	3	5	480	525	440	482	120	130	120	123	35	37	1,3
32453	Республика Дагестан	<i>Дербентская черноколосая</i>	5	3	5	590	435	270	432	135	120	155	137	43	45	1,9

Стабильно повышенная относительная влажность и высокая температура воздуха создают комфортные условия для развития грибных болезней, что позволяет провести достоверную оценку устойчивости пшеницы к ним. Изученные образцы отмечены как устойчивые и среднеустойчивые, в 2022 году естественный фон не был благоприятным для проявления бурой ржавчины, из-за чего оценку не проводили.

По устойчивости к полеганию все образцы пшеницы твердой устойчивые и среднеустойчивые, в 2021 году у некоторых выявлена низкая степень. Причина – природно-климатические условия.

По продуктивности с единицы площади отличались образцы и-628825, и-628828 (Мексика). Урожай с 1 м² – 523...547 г/м², у стандартов *Одари*, *Ярина* и *Дербентская черноколосая* – 408, 637, и 363 г/м² соответственно (табл. 2).

По высоте растений изученные образцы низко-, средне- и высокорослые – 92...143 см.

По массе 1000 зерен выделены сорта: и-628825 (Мексика), к-66673 (Краснодарский край), к-66697 (Московская обл.) с массой 1000 зерен от 49 до 52 г соответственно. Наибольшее количество зерен с одного колоса у к-66697, к-66748, к-66673, к-66747 (Россия) и-628833 (Мексика). Максимальная масса

зерна с одного колоса у к-66673, к-66747, к-66748, к-66697 и к-66746 (Россия) – 2,3...2,8 г (табл. 2).

Таким образом, выделенные образцы пшеницы твердой с высокой продуктивностью зерна могут быть использованы как источники селекционно ценных признаков (скороспелость, продуктивность, крупнозерность) для дальнейшего применения в селекционно-генетических программах по созданию новых адаптивных сортов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ляпунова О.А. Селекция твердой пшеницы в Италии // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 5 (1). С. 19–34.
2. Ляпунова О.А., Андреева А.С. Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181 (4). С. 7–16.
3. Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев В.Е. и др. Методические указания по изучению пшеницы. Пополне-

ние, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. С.-Пб, 1999. 81 с.

4. Мережко А.Ф. Проблема доноров в селекции растений. С.-Пб, 1994. с. 125.

REFERENCES

1. Lyapunova O.A. Selekcija tvrdoj pshenicy v Italii // Pis'ma v Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. № 5 (1). S. 19–34.
2. Lyapunova O.A., Andreeva A.S. Sorta i linii, popolnivshie genofond tvrdoj pshenicy VIR v 2000–2019 gg. // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020. № 181 (4). S. 7–16.
3. Merezko A.F., Udachin R.A., Zuev V.E. i dr. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu pshenicy. Popolnenie, sohranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoj kollekcii pshenicy, egilopsa i tritikale. S.-Pb, 1999. 81 s.
4. Merezko A.F. Problema donorov v selekcii rastenij. S.-Pb, 1994. s. 125.

Поступила в редакцию 04.12.2023

Принята к публикации 18.12.2023

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МАРКИРОВАНИЕ В СЕЛЕКЦИИ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К АЛЬТЕРНАРИОЗУ*

Елена Викторовна Дубина^{1,2}, доктор биологических наук, профессор РАН

Юлия Александровна Макуха¹, кандидат биологических наук

Сергей Валентинович Гаркуша¹, член-корреспондент РАН

Дмитрий Сергеевич Симоненко², аспирант

Олеся Леонидовна Горун¹, младший научный сотрудник

Сергей Александрович Лесняк¹, младший научный сотрудник

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Россия

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

E-mail: lenakrug1@rambler.ru

Аннотация. В представленном исследовании изучен полиморфизм SSR-локусов по признаку устойчивости капусты белокочанной к альтернариозу. Цель работы – выявить эффективные и информативные SSR-маркеры для идентификации в генотипах гибридных растений культуры донорных аллелей устойчивости к альтернариозу. Из 20 апробированных маркеров только PBCSSRJU13, PBCSSRJU6, NI-F02a демонстрируют аллельную разницу между контрастными по резистентности к альтернариозу изогенными линиями. Они станут основой для последующих исследований по проведению анализа расщепления в сегрегирующих популяциях и определению информативных ДНК-маркерных систем, сонаследуемых с признаком устойчивости капусты белокочанной к альтернариозу.

Ключевые слова: капуста белокочанная, SSR-маркеры, ПЦР-анализ, альтернариоз, изогенные линии

MOLECULAR MARKING IN A WHITE CABBAGE SELECTION FOR RESISTANCE TO ALTERNARIA BLIGHT

E.V. Dubina^{1,2}, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor of the RAS*

Yu.A. Makukha¹, *PhD in Biological Sciences*

S.V. Garkusha¹, *Corresponding member of the RAS*

D.S. Simonenko², *PhD Student*

O.L. Gorun¹, *Junior Researcher*

S.A. Lesnyak¹, *Junior Researcher*

¹Federal Scientific Rice Centre, Krasnodar, Russia

²Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

E-mail: lenakrug1@rambler.ru

Abstract. In the presented study, the polymorphism of SSR loci was studied on the basis of the resistance of white cabbage to alternariosis. This work was carried out in order to identify effective and informative ISSR markers for the identification of donor alleles of resistance to alternariosis in the genotypes of hybrid plants of culture. Of the 20 tested markers, only 3 (PBCSSRJU13, PBCSSRJU6, NI-F02a) demonstrate an allelic difference between the isogenic lines of white cabbage contrasting in resistance to Alternaria Blight. They will become the basis for subsequent studies on the analysis of cleavage in segregating populations and the determination of informative DNA marker systems co-inherited with the sign of resistance of cabbage to alternariosis.

Keywords: white cabbage, SSR-markers, PCR-analysis, Alternaria Blight, isogenic lines

Капуста белокочанная (*Brassica oleracea* L.) – наиболее востребованная овощная культура среди всех представителей рода *Brassica*. Ее пищевая ценность объясняется высоким содержанием биологически активных веществ, в том числе, фенольных соединений, выполняющих важные физиологические функции в живом организме, а также биофлавоноидов, которые регулируют многие реакции метаболизма, участвуют в окислительно-восстановительных процессах, обладают широким спектром биологической активности. [2]

Среди деструктивных болезней данной культуры, значительно снижающих урожайность, особое внимание стоит уделить альтернариозу (черная пятнистость), основные возбудители которого – фитопатогенные грибы видов *Alternaria brassicae*, *Alternaria brassicicola*. [3] Поражение может происходить на любом этапе развития растения. На стадии сеянцев появляются черные некротические полосы и пятна на семядолях и подсемядольных коленах, что приводит к их увяданию. У более взрослых растений на кроющих листьях кочана

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ФГБНУ «Федерального научного центра риса» в рамках научного проекта № МФИ-П-20.1/41 / The research was carried out with the financial support of the Kuban Scientific Foundation, the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Rice Research Center” within the framework of the scientific project No. IFI-P-20.1/41.

есть темные зональные пятна, покрытые рыхлым сажистым налетом спороношения. Пятна часто с желтой окантовкой. Середина их вскоре становится желто-коричневой и впоследствии может выпасть, в результате чего листья приобретают изрешеченный вид. Часто альтернариозом поражаются кочаны капусты, при этом на наружных листьях образуется черный налет, а затем и черные некротические пятна, может возникнуть ранняя дефолиация и гибель растения. [7]

По результатам анализа литературных источников, исследования в области молекулярного маркирования генов (локусы) устойчивости к альтернариозу в основном посвящены представителям масличных культур семейства *Brassicaceae* (*Brassica juncea*, *Brassica carinata*). [4, 5, 8] Работы по определению информативных маркерных систем на данный признак у капусты белокочанной не проводили.

Цель исследования — поиск информативных SSR-маркеров для идентификации в генотипах растений капусты белокочанной донорных аллелей устойчивости к альтернариозу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения — контрастные формы капусты белокочанной (устойчивая изогенная линия 42 и восприимчивая изогенная линия 32), отобранные в отделе овощекартофелеводства ФГБНУ «ФНЦ риса».

ДНК из листьев капусты выделяли по схеме Мюррея и Томпсона [6] с использованием цетилтриметиламмоний бромида (СТАВ) в качестве лигирующего буфера растительных клеток.

В молекулярно-генетических исследованиях по идентификации аллелей устойчивости к альтернариозу у капусты белокочанной применяли SSR-маркеры. [4, 5, 8] Нуклеотидные последовательности праймеров представлены в таблице.

Копирование участков ДНК проводили в амплификаторах Терцик и Bio Rad с оптимизацией условий ПЦР. При апробации маркеров использовали протокол: первичная денатурация — 15 мин., следующие 35 циклов: денатурация при 95°C — 60 сек., отжиг праймеров (54°C) — 60 сек., элонгация (72°C) — 60 сек., финальная элонгация (72°C) — 10 мин.

Разделяли продукты амплификации методом электрофореза в 8%-ом полиакриламидном геле (180 мин.) при напряжении 220 В. [1] Визуализировали результаты электрофореза в УФ-свете с помощью геля-документирующей системы GelDocXR+.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В молекулярно-генетических исследованиях по выявлению информативных ДНК-маркерных систем для идентификации аллелей устойчивости к альтернариозу апробировали 20 SSR-маркеров на контрастных по резистентности к альтернариозу изогенных линиях капусты белокочанной, три из которых оказались наиболее полиморфными (рис. 1–3, 4-я стр. обл.).

На рисунке 1 видно, что маркер PBCESSRJU13 выявляет полиморфизм между контрастными по

Нуклеотидная последовательность использованных в исследовании праймеров

Маркер	Последовательность праймеров
PBCESSRJU1	F: GGTGAAAGAGGAAGATTGGT R: AGGAGATACAGTTGAAGGGTC
PBCESSRJU2	F: TTCACATCTTCTCATCTTCC R: TTGCTATTCTCTCAGTCTC
PBCESSRJU3	F: CCTCTTTTAAATCAAACAAGAAATCA R: TTCGGACAATGGCAGTGATA
PBCESSRJU4	F: CACCTTATCATCTCTCTATCCC R: CCTCTGTTTCTCTCTTGTG
PBCESSRJU5	F: GGCACGTACATGGAGGATTTC R: TGTTGGTCGAGCTGTTTCAG
PBCESSRJU6	F: TCTCTCACCTGCCTTGCTCT R: ACTCCTCGGTAATGCCTC
PBCESSRJU7	F: TACCACTCCCTAACCGCA R: ATCACCTTGAGAGCGAAG
PBCESSRJU8	F: CGCTCTTCTTCTTAGTCTCT R: ACTTCATCTTCCACGGCT
PBCESSRJU9	F: CCCTACCGCTGGTAGACTT R: GCATCATGACCAACTATCAACC
PBCESSRJU10	F: GCGCGTAGGTAAGGAG R: AGCCATCGAGCCATTCAG
PBCESSRJU11	F: CGGTGTTAAAAGGTTATTTTC R: ATCTCCAATCAAAAAGCAAAC
PBCESSRJU12	F: AAGCTCAGATCGTTGCG R: AGATGAATGTGAAATAGGGGT
PBCESSRJU13	F: TTGCTTTGACTGAGCCTG R: CCATTCATGGAGCCTGTAG
PBCESSRJU14	F: GCGAAGCAGTCTGAAACC R: GCGAATCCGGTGAGAAAC
PBCESSRJU15	F: GGATCTCATGTTCACTGCTG R: TGATTACATCAAAATATGAG
PBCESSRJU16	F: TCCTCACTTCTTGGCATC R: ACTGAAAAGACCACTACCACCA
NI2D10	F: GATGCCCCAAATCTGTTACG R: CAATTCGTGAAAAATAGCCG
NI3C05	F: TTTCTGCTTTGTTGTGAAG R: TCCCAAATCGAACCATAAAG
BRMS-011	F: GAACGCGCAACAACAATAGTG R: CGCGTCACAATCGTAGAGAATC
NI-F02a	F: TGCAACGAAAAAGGATCAGC R: TGCTAATTGAGCAATAGTGATTC

устойчивости к альтернариозу формами капусты белокочанной. С помощью маркера молекулярной массы определен размер ПЦР-продуктов: устойчивые аллели — 408 и 1000 п.н., неустойчивые — 354 и 948 п.н.

На электрофореграммах видна аллельная разница между изучаемыми контрастными формами капусты белокочанной (рис. 2, 3, 4-я стр. обл.). Размер аллелей устойчивости по локусу PBCESSRJU6 — 142, 191, 370 и 432 п.н., аллеля восприимчивости — 318 п.н., по локусу NI-F02a размер обнаруженных ПЦР-продуктов составляет 400, 650 и 975 п.н. (устойчивые), 700 п.н. (неустойчивые).

При апробации остальных 17 маркеров полиморфизма между контрастными изогенными линиями обнаружено не было.

Таким образом, только PBCESSRJU13, PBCESSRJU6, NI-F02a демонстрируют аллельную

разницу между контрастными по резистентности к альтернариозу изогенными линиями капусты белокочанной. В последующих исследованиях отобранные маркеры будут взяты для анализа расщепления и изучения их сонаследования с признаком устойчивости к альтернариозу на растениях сегрегирующих популяций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кутлунина Н.А., Ермошин А.А. Молекулярно-генетические методы в исследовании растений. Екатеринбург, 2017. 142 с.
2. Макуха Ю.А., Дубина Е.В. Разработка методологии оценки устойчивости капусты белокочанной к *Xanthomonas campestris* с применением SSR-маркеров // Рисоводство. 2019. № 3 (44). С. 27–32.
3. Doullah M.A.U., Meah M.B., Okazaki K. Development of an effective screening method for partial resistance to *Alternaria brassicicola* (dark leaf spot) in *Brassica rapa*. *Eur. J. Plant. Pathol.* 2006; 116 (1): 33–43. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9035-2>
4. Ghosh S., Mazumder M., Mondal B. et al. Morphological and SSR marker-based genetic diversity analysis of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) differing in *Alternaria brassicicola* tolerance. *Euphytica*. 2019. V. 215. P. 206–224. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2523-1>
5. Hopkins C.J., Cogan N.O.I., Hand M. et al. Sixteen new simple sequence repeat markers from *Brassica juncea* expressed sequences and their cross-species amplification. *Mol. Ecol. Notes*. 2007. V. 7 (4). P. 697–700. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01681.x>
6. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980. V. 10. P. 4321–4325.
7. Nowicki M., Nowakowska M., Niezgoda A., Kozik E. *Alternaria* black spot of crucifers: symptoms, importance of disease, and perspectives of resistance breeding. *Veg. Crops Res. Bull.* 2012. V. 76 (1). P. 5–19. <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0001-6>
8. Pratap P., Thakur A.K., Meena P.D. et al. Genetic diversity assessment in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) for *Alternaria* black leaf spot tolerance using SSR markers. *J. Oilseed Brassica*. 2015. V. 6 (1). P. 175–182.

REFERENCES

1. Kutlunina N.A., Ermoshin A.A. *Molekulyarno-geneticheskie metody v issledovanii rasteniy*. Ekaterinburg, 2017. 142 s.
2. Makukha Yu.A., Dubina E.V. *Razrabotka metodologii otsenki ustoichivosti kapusty belokochanoy k Xanthomonas campestris s primeneniem SSR-markerov*. *Risovodstvo*. 2019. № 3 (44). С. 27–32.
3. Doullah M.A.U., Meah M.B., Okazaki K. Development of an effective screening method for partial resistance to *Alternaria brassicicola* (dark leaf spot) in *Brassica rapa*. *Eur. J. Plant. Pathol.* 2006; 116 (1): 33–43. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9035-2>
4. Ghosh S., Mazumder M., Mondal B. et al. Morphological and SSR marker-based genetic diversity analysis of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) differing in *Alternaria brassicicola* tolerance. *Euphytica*. 2019. V. 215. P. 206–224. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2523-1>
5. Hopkins C.J., Cogan N.O.I., Hand M. et al. Sixteen new simple sequence repeat markers from *Brassica juncea* expressed sequences and their cross-species amplification. *Mol. Ecol. Notes*. 2007. V. 7 (4). P. 697–700. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01681.x>
6. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980. V. 10. P. 4321–4325.
7. Nowicki M., Nowakowska M., Niezgoda A., Kozik E. *Alternaria* black spot of crucifers: symptoms, importance of disease, and perspectives of resistance breeding. *Veg. Crops Res. Bull.* 2012. V. 76 (1). P. 5–19. <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0001-6>
8. Pratap P., Thakur A.K., Meena P.D. et al. Genetic diversity assessment in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) for *Alternaria* black leaf spot tolerance using SSR markers. *J. Oilseed Brassica*. 2015. V. 6 (1). P. 175–182.

Поступила в редакцию 16.10.2023
Принята к публикации 30.10.2023

ШКАЛЬНО-БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОИНДИКАЦИИ ПОЧВ ДЛЯ СЕЯНЦЕВ ЯБЛОНИ

Вячеслав Леонидович Захаров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Наталья Викторовна Моргачёва, кандидат педагогических наук, доцент

Елена Борисовна Сотникова, кандидат педагогических наук, доцент

Роман Викторович Щучка, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», г. Елец, Липецкая обл., Россия

E-mail: zacharov7979@mail.ru

Аннотация. Исследования проводили в 2010–2022 годах в Липецкой и Тамбовской областях. Грунт (гумусовый горизонт) отбирали в яблоневых садах разных возрастов, типов и подтипов почвы. Для вегетационного опыта использовали сеянцы яблони сорта Ренет Кичунова от свободного опыления. При возрастании содержания в почве физической глины с 10 до 45% длина побегов сеянцев увеличивался с 3,5 до 15,5 см, общая сухая биомасса – с 0,7 до 2,2, в том числе листьев – от 0,3 до 1,0, побегов – от 0,2 до 0,6, корней – от 0,2 до 0,6 г/сосуд. Если содержание физической глины достигает 85%, то это приводит к остановке роста побегов и снижению общей сухой биомассы. С возрастанием бонитета чернозема выщелоченного с 75 до 90 баллов высота сеянцев увеличивается с 4 до 15 см, общая сухая биомасса – с 0,3 до 1,9, в том числе листьев – с 0,1 до 0,5, побегов – с 0,1 до 0,4, корней – с 0,1 до 1,0 г/сосуд. При изменении возраста яблоневого сада с 1 года до 20 лет высота сеянцев яблони, высаженных на этой почве, снижается с 40 до 4 см, общая сухая биомасса – с 6,2 до 0,6, в том числе масса листьев – с 3 до 0,3, побегов – с 1,8 до 0,2, корней – с 1,4 до 0,1 г/сосуд. Это позволило нам разработать биометрическую шкалу, по которой можно оценить возраст почвы (степень почвоутомления) с помощью сеянцев. Полученные данные позволяют предложить биометрические шкалы для оценки изменения гранулометрического состава, бонитета почвы и времени пребывания ее в яблоневом саду по величине биомассы сеянцев яблони сорта Ренет Кичунова.

Ключевые слова: биоиндикация почв, сеянцы яблони, бонитет, гранулометрический состав, почвоутомление

SCALE AND BIOMETRIC BASIS OF SOIL BIOINDICATION FOR APPLE SEEDLINGS

V.L. Zakharov, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

N.V. Morgacheva, *PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor*

E.B. Sotnikova, *PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor*

R.V. Shchuchka, *PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor*

I.A. Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk region, Russia

E-mail: zacharov7979@mail.ru

Abstract. The studies were carried out in 2010–2022 in the Lipetsk and Tambov regions. Soil (humus horizon) was sampled from apple orchards of different ages, soil types and subtypes. For the growing season, apple seedlings of the Renet Kichunov variety from open pollination were used. With an increase in the content of physical clay in the soil from 10 to 45%, the length of seedling shoots increased from 3.5 to 15.5 cm, the total dry biomass – from 0.7 to 2.2, including leaves – from 0.3 to 1.0, shoots – from 0.2 to 0.6, roots – from 0.2 to 0.6 g/vessel. If the content of physical clay reaches 85%, this leads to a stop in shoot growth and a decrease in the total dry biomass. With an increase in the leached chernozem bonitet from 75 to 90 points, the height of seedlings increases from 4 to 15 cm, the total dry biomass – from 0.3 to 1.9, including leaves – from 0.1 to 0.5, shoots – from 0.1 to 0.4, roots – from 0.1 to 1.0 g/vessel. When the age of an apple orchard changes from 1 year to 20 years, the height of apple seedlings planted on this soil decreases from 40 to 4 cm, the total dry biomass – from 6.2 to 0.6, including the mass of leaves – from 3 to 0.3, shoots – from 1.8 to 0.2, roots – from 1.4 to 0.1 g/vessel. This allowed us to develop a biometric scale by which we can estimate the age of the soil (degree of soil fatigue) using seedlings. The obtained data make it possible to propose biometric scales for assessing changes in the granulometric composition, quality of the soil and the time it remains in the apple orchard based on the biomass of apple tree seedlings of the Renet Kichunov variety.

Keywords: soil bioindication, apple seedlings, bonitet, granulometric composition, soil fatigue

Сосудистые растения – сильные индикаторы общего биоразнообразия во всех экологических градиентах и широких таксономических областях. [3] Горчица горькая, накапливая в своих побегах цинк и кадмий, служит не только тест-культурой на загрязненность почвы тяжелыми металлами, но и считается фиторемедиатором. [8] Сорго, напротив, очень устойчивая культура к большим концентрациям этих двух металлов в почве. [6] Отличный индикатор на загрязнение почвы тяжелыми металлами (Ni, Cr, Co, Cd, Zn, Pb и Hg) – падуб остролистный. [13] В опыте изучали коэффициенты

концентрации цинка и кадмия (отношение доли Zn и Cd в побегах к содержанию их в почве) с помощью подорожника узколистного и одуванчика обыкновенного. [11] Резуховидка Талля имеет маркерный ген β-глюкуронидазы, который очень чувствительно реагирует на ионизирующее излучение. [9] К содержанию в почве органического вещества юглона чувствительно большинство садовых и злаковых растений. [4] Клубеньки бобовых культур окрашиваются в розовый цвет, когда содержание свинца в почве превышает пороговое в 1,5...2,0 раза. [2] Рожь очень хорошо отзывается на варьирование в почве азота

и фосфора (корреляция между элементами в листьях и почве высокая). [15] На увеличение доли фосфора в почве 96 генотипов сои реагировали увеличением биомассы растения, особенно массы корней и количества клубеньков. [16] По величине побегов ячменя можно отследить стрессовые концентрации кадмия в почве. [10] Установлены пороговые концентрации свинца, меди и цинка в почве, при которых многие растения погибают, так и не вступив в фазу цветения. [14] Выявлены виды древесных растений, рекомендованные для биомониторинга антропогенного загрязнения окружающей среды в умеренных широтах (изучение биогеохимических параметров листьев): клен платановидный, каштан конский, береза повислая, кизильник блестящий, тополь черный и ива ломкая. [7] Индикаторы на содержание в верхнем слое почвы калия, магния, фосфора, марганца и азота – роза морщинистая и черемуха поздняя. [4] Большая часть литературных источников (отечественные, зарубежные) по биоиндикации почв посвящена реакции растений на тяжелые металлы, особенно кадмий. В научной литературе пока мало сведений о влиянии отдельных почвенных параметров плодородия на величину биомассы плодовых растений. Не освещены вопросы создания оценочных шкал для сеянцев яблони.

Цель исследования – разработать шкалы, по которым можно оценить с помощью сеянцев яблони изменение трех параметров почвы (гранулометрический состав, бонитет, время пребывания под яблоневым садом).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2010–2022 годах в Липецкой и Тамбовской областях на почвах разного возраста (1...20 лет) закладывали сады по схемам 5×3, 6×4 и 6×8 м на подвоях 62-396, 54-118 и семенных. Почвы – черноземы выщелоченные, оподзоленные, типичные, лугово-черноземные, серые лесные, дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые, аллювиальные дерновые супесчаные. Агрохимические анализы, выполненные по инструкции ЦИНАО, послужили основой для расчета бонитета почв. Гранулометрический состав определяли пирофосфатным методом. [4] По общепринятой методике вегетационные опыты были заложены в 2007–2020 годах на базе двух университетов – Елецкого государственного (имени И.А. Бунина) и Мичуринского государственного аграрного. Продолжительность – 142 дня. Масса почвы в пластиковом сосуде – 750 г, повторность четырехкратная. Дренаж на дне сосудов – 100 г чистого кварцевого песка слоем 1 см. Поверхность почвы с целью мульчирования и стабилизации гидротермического режима в сосудах покрывали сантиметровым слоем песка. В качестве вариантов служили почвенные разности, отобранные в яблоневых садах. В пределах подтипа (чернозем выщелоченный) были выделены почвы, отличающиеся между собой лишь по одному из параметров. В работе приведены данные по гранулометрическому составу, времени пребывания под яблоневыми садами, суммарному выражению почвенных параметров (бонитет). Растение-биоиндикатор – сеянцы яблони сорта *Ренет Кичунова* от свободного опыления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Самый замедленный рост и наименьшая высота растений отмечены на аллювиальных дерновых почвах. На супесчаных было усыхание и отмирание верхушки побега, верхних листьев яблони, а также очень слабое развитие корневой системы. На серой, светло-серой лесной и дерново-подзолистой супесчаной – самый бурный рост корневой системы. Образовывались длинные и густые корни, охватывающие весь объем вегетационного сосуда. На серых лесных почвах наибольшая высота растений (до 40 см) с максимальным количеством листьев на побеге (22...24). На черноземных почвах, наоборот, корневая система яблони была намного слабее развита. Масса корней сеянцев очень слабо зависела от бонитета черноземных почв ($r = 0,57$). В пределах группы лесных почв с увеличением содержания физической глины возрастала сырая масса листьев ($r = 0,69$) и побегов ($r = 0,91$), сухая масса побегов ($r = 0,85$) и общая сырая биомасса ($r = 0,95$). В группах почв, сформированных на аллювии, с увеличением содержания физической глины прибавилась сырая ($r = 0,84$) и сухая ($r = 0,77$) масса побегов, общая сырая биомасса ($r = 0,79$), водоудерживающая способность листьев ($r = 0,73$) и содержание в побегах сухих веществ ($r = 0,74$).

Вегетационные исследования позволили разработать биометрическую шкалу для оценки гранулометрического состава почвы по величине биомассы сеянцев яблони (табл. 1).

При возрастании содержания в почве физической глины с 10 до 45% длина побегов увеличивается с 3,5 до 15,5 см, общая сухая биомасса – с 0,7 до 2,2, в том числе листьев – от 0,3 до 1,0, побегов – от 0,2 до 0,6, корней – от 0,2 до 0,6 г/сосуд. Если содержание физической глины достигает 85%, происходит резкая остановка роста побегов и снижение общей сухой биомассы.

На черноземах с повышением содержания щелочногидролиземого азота увеличивалась водоудерживающая способность листьев ($r = 0,69$). С расчетом содержания подвижного фосфора масса корней сокращалась ($r = 0,65$). С возрастанием процента гумуса повышалась сырая масса листьев ($r = 0,77$), общая биомасса ($r = 0,66$) и содержание в побегах сухих веществ ($r = 0,8$). С изменением бонитета черноземных почв возрастала надземная масса ($r = 0,81$) и общая сырая биомасса ($r = 0,8$).

На лесных почвах с повышением содержания в почвах обменных оснований возрастала сы-

Таблица 1.
Биометрическая шкала сеянцев яблони для гранулометрического состава почвы (на 750 г почвы)

Содержание физической глины, %	Высота растения, см	Общая сухая биомасса, г	Сухая масса, г		
			листья	побеги	корни
0...10	3,5...4,5	0,7...1,0	0,3...0,4	0,2...0,3	0,2...0,3
10...20	4,5...8,5	1,0...1,3	0,4...0,5	0,3...0,4	0,3...0,4
20...30	8,5...10,0	1,3...1,6	0,5...0,6	0,4...0,5	0,4...0,5
30...45	10,0...15,5	1,6...2,2	0,6...1,0	0,5...0,6	0,5...0,6
45...85	3,5...5,0	0,6...0,9	0,3...0,4	0,2...0,3	0,1...0,2

рая масса листьев ($r = 0,68$), сухая масса побегов ($r = 0,74$), общая сырая биомасса ($r = 0,7$), водоудерживающая способность листьев ($r = 0,72$) и побегов ($r = 0,75$). С увеличением емкости поглощения усиливалась водоудерживающая способность побегов ($r = 0,71$). Установлена корреляционная зависимость между бонитетом этих почв и сухой массой побегов яблони.

На аллювиальных дерновых супесчаных почвах при увеличении наименьшей влагоемкости возрастала сухая масса листьев и общая сырая биомасса ($r = 0,66$). С усилением обменной и гидролитической кислотности росла водоудерживающая способность побегов ($r = 0,67$). С увеличением суммы обменных оснований увеличивалась сырая масса побегов ($r = 0,67$), водоудерживающая способность листьев ($r = 0,78$), содержание сухих веществ в листьях ($r = 0,75$) и побегах ($r = 0,79$). По мере прибавления емкости поглощения увеличивалась водоудерживающая способность листьев ($r = 0,77$) и побегов ($r = 0,67$), содержание в них сухих веществ – $r = 0,71$ и $r = 0,74$ соответственно. С возрастанием содержания гумуса увеличивалось количество воды в листьях ($r = 0,68$).

В результате корреляционных анализов установлены показатели почвы, прирост которых стимулирует наращивание биомассы сеянцев яблони: на черноземах – содержание подвижного фосфора и щелочногидролизующего азота; лесных и аллювиальных – сумма обменных оснований, емкость поглощения и содержание физической глины. Повышение содержания гумуса, гигроскопичности и влагоемкости улучшает биомассу и тургор сеянцев яблони на всех почвах.

Установлено, что чем выше бонитет черноземов, тем больше надземная масса яблони ($r = 0,81$). Это стало основанием для разработки биометрической шкалы сеянцев яблони применительно к бонитету чернозема выщелоченного (табл. 2).

При изменении бонитета чернозема выщелоченного с 75 до 90 баллов высота сеянцев возрастает с 4 до 15 см, общая сухая биомасса – с 0,3 до 1,9, в том числе листьев – с 0,1 до 0,5, побегов – с 0,1 до 0,4, корней – с 0,1 до 1,0 г/сосуд.

Выращивание монокультуры (яблоня) приводит к тому, что в почве накапливается содержание фенольных соединений, тормозящих рост сеянцев. [1, 12] С увеличением возраста яблоневого сада с 1 года до 20 лет высота сеянцев снижается с 40 до 4 см, общая сухая биомасса – с 6,2 до 0,6, в том числе масса листьев – с 3 до 0,3, побегов – с 1,8 до 0,2, корней – с 1,4 до 0,1 г/сосуд. Это позволило нам разработать биометрическую шкалу, по которой можно оценить возраст почвы (степень почвоутomления) с помощью сеянцев яблони сорта *Ренет Кичунова* (табл. 3).

Выводы. 1. При возрастании содержания в почве физической глины с 10 до 45% длина побегов сеянцев яблони сорта *Ренет Кичунова* увеличилась с 3,5 до 15,5 см, общая сухая биомасса – с 0,7 до 2,2, в том числе листьев – от 0,3 до 1,0, побегов – от 0,2 до 0,6, корней – от 0,2 до 0,6 г/сосуд. Если содержание физической глины достигает 85%, то это приводит к резкой остановке роста побегов и снижению общей сухой биомассы.

Таблица 2.

Биометрическая шкала сеянцев яблони для бонитета почвы (на 750 г почвы)

Бонитет, балл	Высота растения, см	Общая сухая биомасса, г	Сухая масса, г		
			листья	побеги	корни
75,0...80,0	4,0...5,0	0,3...0,7	0,1...0,3	0,1...0,2	0,1...0,2
80,0...85,0	5,0...8,5	0,7...1,2	0,3...0,4	0,2...0,3	0,2...0,5
85,0...90,0	8,5...15,0	1,2...1,9	0,4...0,5	0,3...0,4	0,5...1,0

Таблица 3.

Биометрическая шкала сеянцев яблони для времени пребывания почвы под садом (на 750 г почвы)

Время пребывания почвы под садом, лет	Высота растения, см	Общая сухая биомасса, г	Сухая масса, г		
			листья	побеги	корни
0...1,0	30,0...40,0	3,9...6,2	1,8...3,0	1,1...1,8	1,0...1,4
2,0...7,0	20,0...30,0	2,7...3,9	1,3...1,8	0,7...1,1	0,7...1,0
8,0...10,0	15,0...20,0	1,9...2,7	0,9...1,3	0,5...0,7	0,5...0,7
11,0...15,0	8,0...15,0	1,0...1,9	0,5...0,9	0,3...0,5	0,2...0,5
16,0...20,0	4,0...8,0	0,6...1,0	0,3...0,5	0,2...0,3	0,1...0,2

2. С изменением бонитета чернозема выщелоченного с 75 до 90 баллов высота сеянцев возрастает с 4 до 15 см, общая сухая биомасса – с 0,3 до 1,9, в том числе листьев – с 0,1 до 0,5, побегов – с 0,1 до 0,4, корней – с 0,1 до 1,0 г/сосуд.

3. При увеличении возраста яблоневого сада с 1 года до 20 лет высота сеянцев яблони снижается с 40 до 4 см, общая сухая биомасса – с 6,2 до 0,6, в том числе масса листьев – с 3 до 0,3, побегов – с 1,8 до 0,2, корней – с 1,4 до 0,1 г/сосуд. Разработана биометрическая шкала, по которой можно оценить возраст почвы с использованием сеянцев.

4. Полученные данные позволяют предложить биометрические шкалы для оценки изменения гранулометрического состава, бонитета почвы и времени пребывания ее в яблоневом саду по величине биомассы сеянцев.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рылов Г.П. Яблоня в вашем саду. Минск: Ураджай, 1998. 399 с.
2. Bekuzarova S.A., Bekmurzov A.D., Datieva I.A. et al. Clover nodule bacteria as bioindicators of soils contaminated with heavy metals // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. No. 6. 062043.
3. Brunbjerg A.K., Bruun H.H., Dalby L. et al. Vascular plant species richness and bioindication predict multi-taxon species richness // Methods in Ecology and Evolution. 2018. Vol. 9. Issue 12. P. 2372–2382.
4. Campos J.A., Paco J.D., García-Noguerra E. Antigerminative comparison between naturally occurring naphthoquinones and commercial pesticides. Soil dehydrogenase activity used as bioindicator to test soil toxicity // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 694. P. 133672.
5. Dassonville N., Vanderhoeven S., Vanparys V. et al. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. 2008. Oecologia. Vol. 157. P. 131–140.
6. Epelde L., Mijangos I., Becerril J.M., Garbisu C. Soil microbial community as bioindicator of the recovery of soil functioning derived from metal phytoextraction with sor-

- ghum // Soil Biology and Biochemistry. 2009. Vol. 41. Issue 9. P. 1788–1794.
7. Gorelova S.V., Frontasyeva M.V. The use of higher plants in biomonitoring and environmental bioremediation // Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants. Vol. 5. 2017. P. 103–155.
 8. Guo D., Ali A., Ren C. et al. EDTA and organic acids assisted phytoextraction of Cd and Zn from a smelter contaminated soil by potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss) and evaluation of its bioindicators // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2019. Vol. 167. P. 396–403.
 9. Kovalchuk, I., Kovalchuk, O., Arkhipov, A. et al. Transgenic plants are sensitive bioindicators of nuclear pollution caused by the Chernobyl accident. *Nat Biotechnol.* 1998. Vol. 16. P. 1054–1059.
 10. Ma P., Tian T., Dai Z. et al. Assessment of Cd bioavailability using chemical extraction methods, DGT, and biological indicators in soils with different aging times // *Chemosphere.* 2022. Vol. 296. 133931.
 11. Muhammad I., Puschenreiter M., Wenzel W.W. Cadmium and Zn availability as affected by pH manipulation and its assessment by soil extraction, DGT and indicator plants // *Science of The Total Environment.* 2012. Vol. 416. P. 490–500.
 12. Nicola L., Vrhovsek U., Insam H., Pertot L. Phlorizin released by apple root debris is related to apple replant disease // *Phytopathologia Mediterranea.* 2016. Vol. 55. No. 3. P. 432–437.
 13. Samecka-Cymerman A., Kempers A.J. Bioindication of heavy metals in the town Wrocław (Poland) with evergreen plants // *Atmospheric Environment.* 1999. Vol. 33. Issue 3. P. 419–430.
 14. Terekhova V.A., Prudnikova E.V., Kiryushina A.P. et al. Phytotoxicity of Heavy Metals in Contaminated Podzolic Soils of Different Fertility Levels. 2021. *Eurasian Soil Sc.* Vol. 54. P. 964–974.
 15. Tsegaye T., Hill R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements // *Soil Science.* 1998. Vol. 163. No. 2. P. 155–165.
 16. Xiang-wen P., Wen-bin L., Qiu-ying Z. et al. Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils // *Agricultural Sciences in China.* 2008. Vol. 7. Issue 8. P. 958–969.
 4. Campos J.A., Paco J.D., García-Noguerra E. Antigerminative comparison between naturally occurring naphthoquinones and commercial pesticides. Soil dehydrogenase activity used as bioindicator to test soil toxicity // *Science of The Total Environment.* 2019. Vol. 694. P. 133672.
 5. Dassonville N., Vanderhoeven S., Vanparys V. et al. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. 2008. *Oecologia.* Vol. 157. P. 131–140.
 6. Epelde L., Mijangos I., Becerril J.M., Garbisu C. Soil microbial community as bioindicator of the recovery of soil functioning derived from metal phytoextraction with sorghum // *Soil Biology and Biochemistry.* 2009. Vol. 41. Issue 9. P. 1788–1794.
 7. Gorelova S.V., Frontasyeva M.V. The use of higher plants in biomonitoring and environmental bioremediation // *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants.* Vol. 5. 2017. P. 103–155.
 8. Guo D., Ali A., Ren C. et al. EDTA and organic acids assisted phytoextraction of Cd and Zn from a smelter contaminated soil by potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss) and evaluation of its bioindicators // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2019. Vol. 167. P. 396–403.
 9. Kovalchuk, I., Kovalchuk, O., Arkhipov, A. et al. Transgenic plants are sensitive bioindicators of nuclear pollution caused by the Chernobyl accident. *Nat Biotechnol.* 1998. Vol. 16. P. 1054–1059.
 10. Ma P., Tian T., Dai Z. et al. Assessment of Cd bioavailability using chemical extraction methods, DGT, and biological indicators in soils with different aging times // *Chemosphere.* 2022. Vol. 296. 133931.
 11. Muhammad I., Puschenreiter M., Wenzel W.W. Cadmium and Zn availability as affected by pH manipulation and its assessment by soil extraction, DGT and indicator plants // *Science of The Total Environment.* 2012. Vol. 416. P. 490–500.
 12. Nicola L., Vrhovsek U., Insam H., Pertot L. Phlorizin released by apple root debris is related to apple replant disease // *Phytopathologia Mediterranea.* 2016. Vol. 55. No. 3. P. 432–437.
 13. Samecka-Cymerman A., Kempers A.J. Bioindication of heavy metals in the town Wrocław (Poland) with evergreen plants // *Atmospheric Environment.* 1999. Vol. 33. Issue 3. P. 419–430.
 14. Terekhova V.A., Prudnikova E.V., Kiryushina A.P. et al. Phytotoxicity of Heavy Metals in Contaminated Podzolic Soils of Different Fertility Levels. 2021. *Eurasian Soil Sc.* Vol. 54. P. 964–974.
 15. Tsegaye T., Hill R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements // *Soil Science.* 1998. Vol. 163. No. 2. P. 155–165.
 16. Xiang-wen P., Wen-bin L., Qiu-ying Z. et al. Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils // *Agricultural Sciences in China.* 2008. Vol. 7. Issue 8. P. 958–969.

REFERENCES

1. Rylov G.P. *Yablonya v vashem sadu.* Minsk: Uradzhaj, 1998. 399 s.
2. Bekuzarova S.A., Bekmurzov A.D., Datieva I.A. et al. Clover nodule bacteria as bioindicators of soils contaminated with heavy metals // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2020. Vol. 421. No. 6. 062043.
3. Brunbjerg A.K., Bruun H.H., Dalby L. et al. Vascular plant species richness and bioindication predict multi-taxon species richness // *Methods in Ecology and Evolution.* 2018. Vol. 9. Issue 12. P. 2372–2382.

*Поступила в редакцию 12.11.2023
Принята к публикации 27.11.2023*

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОСПОРОГЕНЕЗА У ТЕТРАПЛОИДА ЯБЛОНИ И ЕГО РОДИТЕЛЬСКОЙ ФОРМЫ В СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В СЕЛЕКЦИИ НА ПОЛИПЛОИДНОМ УРОВНЕ

Наталья Геннадьевна Лавруевич, кандидат сельскохозяйственных наук
 Анастасия Геннадьевна Бородкина, младший научный сотрудник
 Мария Александровна Зубкова, младший научный сотрудник
 Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,
 д. Жилина, Орловская обл., Россия
 E-mail: lavrusevich@orel.vniispk.ru

Аннотация. Метод, дающий наибольший эффект для создания сортов яблони с тройным набором хромосом, которые превосходят по своим характеристикам диплоидные сорта, — гибридизация диплоидных сортов ($2x$) с тетраплоидами ($4x$). Набор исходных форм (тетраплоиды) для селекции, обладающих ценными признаками (зимостойкость, высокое качество плодов, устойчивость к болезням и другое) лимитирован. Результативность работ по получению новых ценных сортов яблони, на основе метода полиплоидии, во многом зависит от их разнообразия. Следовательно, выделение тетраплоидов и их цитологическое исследование для определения качества формируемых гамет — обязательное условие при селекции по созданию ценных триплоидных генотипов. Изучали микроспорогенез у двух гибридов с тетраплоидным набором хромосом. Готовили временные давленные препараты ацетогематоксилиновым методом. Для подсчета хромосом в соматических клетках гибридных растений применяли метод Каптаря (1967). Окрашивали материал раствором лакмоида и пропионовой кислоты. Анализ хода мейоза у тетраплоида яблони 34-21-39 [30-47-88($4x$) \times Краса Свердловска($2x$)] и ее родительской формы 30-47-88 [Либерти($2x$) \times 13-6-106 ($4x$)] показал, что наиболее правильным ходом мейоза отличается гибрид 34-21-39. Наибольший процент отклонений и разнообразие мейотических аномалий выявлено у формы 30-47-88. Микроспорогенез завершается формированием визуально нормальной одномерной пыльцы — 89% (форма 34-21-39) и 50% (30-47-88). В комбинациях скрещиваний, с участием изученных форм, найдено 83,1% триплоидов. Для обеспечения большего получения триплоидов можно рекомендовать для гибридизации тетраплоиды 34-21-39 и 30-47-88.

Ключевые слова: *Malus domestica*, полиплоидия, мейоз, донор диплоидных гамет, триплоидные генотипы, плоидность

CHARACTERISTICS OF MICROSPOROGENESIS IN THE TRIPLOID APPLE TREE AND IT'S PARENTAL FORM IN CONNECTION WITH USAGE IN BREEDING AT THE POLYPLOID LEVEL

N.G. Lavrusevich, *PhD in Agricultural Sciences*
 A.G. Borodkina, *Junior Researcher*
 M.A. Zubkova, *Junior Researcher*
 Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilin village, Oryol region, Russia
 E-mail: lavrusevich@orel.vniispk.ru

Abstract. An effective method of creating triploid apple cultivars, which are superior in their characteristics to diploid cultivars, is the crossing of heterochromosomal forms of the type: $2x \times 4x$, $4x \times 2x$. In order to provide a wide range of genetic diversity of triploid hybrids, it is necessary to have a large set of tetraploid donor forms of diploid gametes. A limited set of such forms is a limiting factor for this direction of breeding. And the effectiveness of work on obtaining new valuable apple varieties based on the use of the polyploidy method largely depends on their diversity. Therefore, the identification of new apple tetraploids, as well as the study of cytoembryological features of their generative structures, the determination of the quality of the formed gametes necessary for successful breeding and for predicting the results of these works are relevant. Meiosis during microsporogenesis was studied in two tetraploid apple forms. To study meiosis during microsporogenesis, temporary pressed specimen were prepared by the acetohematoxylin method; the propionic-lactoid method was used to determine the ploidy of hybrid offspring. Microscopic studies were carried out on a Nikon-50i microscope at a magnification of $10 \times 105 \times 40$, $10 \times 1.5 \times 100$. The analysis of the course of meiosis during microsporogenesis in apple tetraploid 34-21-39 [30-47-88($4x$) \times Krasa Sverdlovsk($2x$)] and its parent form 30-47-88 [Liberty \times 13-6-106 (Suvorovetz seedling)] showed that the hybrid 34-21-39 was characterized by the most correct course of meiosis. The largest percentage of deviations and the diversity of morphological types of disorders were detected in the form 30-47-88. Common types of violations were noted. Despite the presence of disorders during meiosis in tetraploid forms, microsporogenesis ended with the formation of visually normal one-dimensional pollen: 89% in the form 34-21-39 and 50% in the form 30-47-88. In combinations of crosses involving the studied forms, a high yield of triploid plants was noted. Consequently, the tetraploid apple forms 34-21-39 and 30-47-88 can be recommended for hybridization for the purpose of mass production of triploid seedlings. The results allow us to conclude that the tetraploid apple forms 34-21-39 and 30-47-88 can be used in breeding as pollinators in heteroploid crosses ($2x \times 4x$) to obtain triploid genotypes.

Keywords: *Malus domestica*, polyploidy, meiosis, donor of diploid gametes, triploid genotypes, ploidy

Яблоня – ведущая плодовая культура в стране. Для пополнения стандартного сортимента необходимы новые высокоадаптивные, иммунные, устойчивые, урожайные сорта яблони с высоким товарным и потребительским качеством плодов.

Полиплоидия – основная движущая сила в эволюции как диких, так и культурных растений. Полиплоидные организмы часто проявляют повышенный потенциал и в некоторых случаях превосходят своих диплоидных родственников в некоторых аспектах. [14] Доля полиплоидных видов покрытосеменных растений составляет не менее 50%. [2, 4] По мнению А.А. Жученко, преимущество полиплоидных видов растений, проявляющееся в их широком географическом распространении, состоит не только в возможностях онтогенетической адаптации, но и в достижении большей генетической (видовая, экотипическая, биогенетическая) изменчивости, обеспечивающей лучшую экологическую специализацию особенностями функционирования систем филогенетической адаптации. [1, 6] Распространенная форма спонтанной полиплоидии – образование полиплоидов с помощью нередуцированных гамет. Примером возникновения полиплоидов путем формирования нередуцированных гамет в естественных условиях считаются триплоидные сорта яблони, такие как *Болдуин*, *Боскопская красавица*, *Графенштейнское*. Спонтанные триплоиды, полученные от скрещивания двух диплоидных сортов – *Витязь*, *Рождественское*, *Юбиляр*, *Низкорослое*. [8]

Использование метода полиплоидии для создания сортов с 3х генотипом – приоритетное направление в селекционных программах ВНИИ селекции плодовых культур. [9, 10] Триплоидия у яблони – наименьший уровень полиплоидии, который дает наибольший хозяйственный эффект. Получены триплоидные сорта от целенаправленных разноромосомных скрещиваний, характеризующиеся регулярным плодоношением, хорошей товарностью плодов, высокой самоплодностью. [11, 13]

Эффективный прием для разработки триплоидного потомства – скрещивания форм разной ploidyности типа 2х × 4х, 4х × 2х. [8] Для этого необходимы тетраплоидные формы (доноры диплоидных гамет). Сами тетраплоиды не пригодны для практического использования из-за низкой зимостойкости, сла-

бой урожайности, но они ценны для селекции. [12] Зарубежные ученые отмечают устойчивость тетраплоидов к стрессам, фитофторозу, парше. [15, 16]

Применяя тетраплоиды в гетероплоидных скрещиваниях, учитывают особенности формирования гамет. Эти знания позволяют селекционерам правильно подобрать исходные формы и наметить объем скрещиваний, чтобы создать гибридный фонд полиплоидов для выделения в дальнейшем из них форм-кандидатов в сорта с триплоидным генотипом.

Цель работы – изучение микроспорогенеза у тетраплоидов яблони и возможности использования их в качестве исходных форм в селекции с применением полиплоидов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в лаборатории цитозембриологии Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК). Микроспорогенез изучали у двух тетраплоидных форм яблони: 34-21-39 и 30-47-88, которые получены в лаборатории селекции яблони ВНИИСПК.

Форма 34-21-39 выделена в гибридном потомстве от скрещивания тетраплоидной формы 30-47-88 в качестве материнского родителя и диплоидного сорта *Краса Свердловска* (отцовский компонент). Родительская форма 30-47-88 (*Либерти* × 13-6-106) обладает геном иммунитета к парше V_f (*Rvi6*).

Цитологические исследования проводили по общепринятым методикам. Временные давленные препараты приготавливали ацетогематоксилиновым методом. [5, 7]

Брали для исследования (фиксировали) генеративные почки с момента появления стадии зеленого конуса. При обнаружении в окрашенных пыльниках стадии профазы фиксировали ежедневно до завершения мейоза. Фиксатор – уксусный алкоголь (три части 96% этилового спирта и одна ледяной уксусной кислоты). Материал промывали 96% этиловым спиртом, заливали 70% этиловым спиртом для хранения.

Чтобы определить ploidyность гибридного потомства яблони от гетероплоидных скрещиваний применяли пропионово-лактоидный метод. [3, 5]

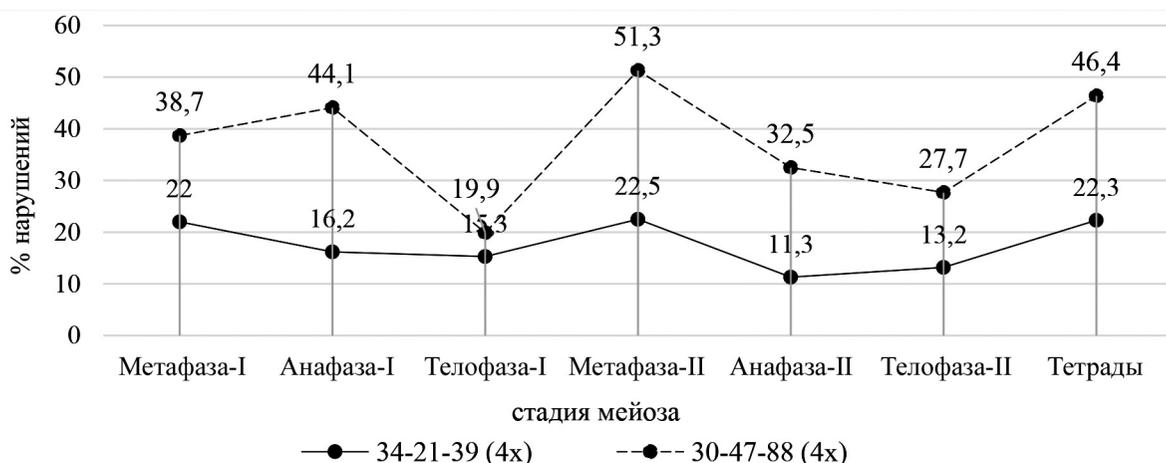


Рис. 1 Характеристика микроспорогенеза у тетраплоидных форм яблони.

Морфология нарушений в ходе мейоза у тетраплоидных форм яблони

Стадия мейоза	Тетраплоидная форма яблони	
	34-21-39	30-47-88
	тип нарушения	
Метафаза-I	Забегание, выбросы	Забегание, выбросы, диффузное распределение хромосом, микроверетено, комбинация из двух типов нарушений
Анафаза-I	Отставание, выбросы, мост	Отставание, выбросы, мост, сверхчисленные веретена, комбинация из двух типов нарушений
Телофаза-I	Микроядра	Микроядра
Метафаза-II	Забегание, выбросы, комбинация из двух типов	Забегание, выбросы, сверхчисленные веретена, неравные веретена деления, асинхронность деления, дегенерация хроматина, отсутствие хроматина, диффузное распределение хроматина, комбинация из двух типов нарушений
Анафаза-II	Отставание, выбросы, мост	Отставание, выбросы, сверхчисленные веретена, мост, асинхронность деления, комбинация из двух типов нарушений
Телофаза-II	Сверхчисленные ядра, микроядра	Сверхчисленные ядра, микроядра, асинхронность деления, дегенерация хроматина
Тетрады	Пентады, гексады, гептады	Пентады, гексады, гептады

Микроскопические исследования осуществляли на микроскопе «Nikon-50i» при увеличении 10x1,5x40, 10x1,5x100. Фотографии сделаны фотокамерой Nikon DS-Fi 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ микроспорогенеза у тетраплоидной формы яблони 34-21-39 и ее материнской формы 30-47-88 показал, что наиболее правильным ходом мейоза отличался гибрид 34-21-39, по сравнению с родительской. Число нарушений у него меньше, и микроспороциты с нормальной картиной деления составляют на разных стадиях от 77,5 до 88,7%. Наибольший процент отклонений у формы 30-47-88 – 19,9 (телофаза-I)...51,3% (метафаза-II), в зависимости от стадии микроспо-

рогенеза. Больше всего нарушений у одной и другой отмечено на стадии метафаза-II (рис. 1).

Количество мейотических аномалий и их морфологическое разнообразие взаимосвязаны между собой. Чем правильнее течение редукционного деления, тем меньше разнообразие отклонений в нем, например, у формы 34-21-39 (4x). Наоборот, у тетраплоида 30-47-88 наибольший процент аномалий в ходе мейоза и разнообразие морфологических типов нарушений больше (табл. 1).

Для тетраплоидных форм 34-21-39 и 30-47-88 общие типы нарушений на стадиях метафаза-I и метафаза-II – выбросы и преждевременное забегание хромосом до начала анафазного движения в основной группе (рис. 2 а, в). На стадиях анафаза-I и анафаза-II наблюдаются отставания (рис. 2б), мосты и выбросы хромосом, приводящие в даль-

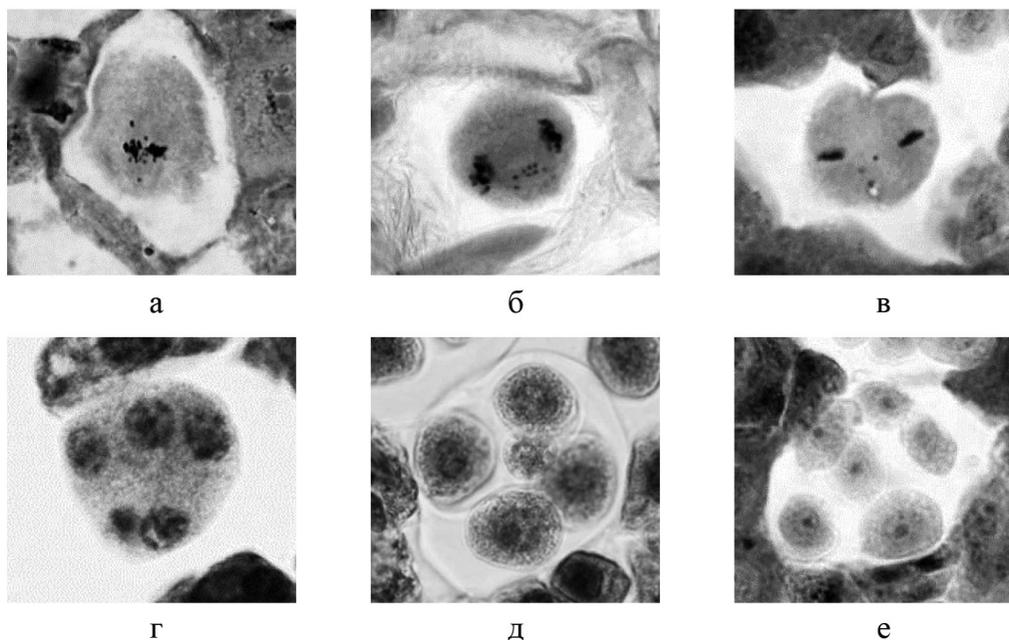


Рис. 2. Аномальное деление в ходе микроспорогенеза: а – метафаза-I, забегание хромосом, 30-47-88; б – анафаза-I, отставание хромосом, 30-47-88 (4x); в – метафаза-II, выбросы хромосом, 30-47-88; г – телофаза-II сверхчисленные ядра 34-21-39; д – пентада, 34-21-39; е – гексада, 30-47-88.

Плоидность гибридного потомства

Гибридная семья	Количество семян, шт.	В том числе, шт./%	
		диплоиды	триплоиды
<i>Гирлянда</i> (2х)×34-21-39 (4х)	160	32/20	128/80
<i>Созвездие</i> (2х)×30-47-88(4х)	250	54/21,6	196/78,4
<i>Гирлянда</i> (2х)×30-47-88 (4х)	330	73/22,1	257/77,9
<i>Приокское</i> ×30-47-88 (4х)	208	59/24,4	149/71,6
<i>Краса Свердловска</i> ×30-47-88 (4х)	77	13/16,9	64/83,1

нейшем к формированию сверхчисленных фигур деления и, как следствие этого, образование дополнительных ядер и микроядер на стадиях телофаза-I и телофаза-II и сверхчисленных микроспор на стадии тетрад (рис. 2 г-е). У изученных форм полиады представлены пентадами, гексадами, гептадами (рис. 2 д, е). Количество аномальных тетрад у гибридной формы 34-21-39 составляет 22,3%, родительской формы 30-47-88 – 46,4%.

Несмотря на наличие нарушений в ходе мейоза у изученных тетраплоидных форм микроспорогенез завершается формированием достаточного количества визуально нормальной одномерной пыльцы – 89% (форма 34-21-39) и 50% (30-47-88).

Данные характеристики мейоза подтверждаются результатами анализа плоидности гибридного потомства, полученного с участием этих форм (табл. 2).

Во всех комбинациях скрещиваний отмечен большой процент растений с триплоидным генотипом: 80% – с тетраплоидной формой 34-21-39, 71,6...83,1% – 30-47-88. Следовательно, тетраплоидные формы яблони 34-21-39 и 30-47-88 можно рекомендовать для включения в селекцию на полиплоидном уровне с целью массового получения триплоидных семян.

Выводы. Тетраплоидные формы яблони 34-21-39 и 30-47-88 могут быть включены в селекционную работу в качестве опылителей в гетероплоидных скрещиваниях (2х × 4х) для получения триплоидных генотипов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (экологические основы). М.: РУДН, 2001. Т. I. 780 с.
2. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика). М.: Агрорус, 2004. Т. I. 690 с.
3. Каптарь С.Г. Ускоренный пропионово-лакмоидный метод приготовления и окрашивания временных цитологических препаратов для подсчета хромосом у растений // Цитология и генетика. 1967. Т. 1. № 4. С. 87–90.
4. Парфенов В.И., Дмитриева С.А. Роль полиплоидии в эволюции растений в условиях умеренного климата и равнинного рельефа (на примере флоры Белоруссии) // Известия АН БССР. сер. биол. наук. 1991. № 3. С. 39.
5. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1980. 304 с.
6. Першина Л.А. О роли отдаленной гибридизации и полиплоидии в эволюции растений // Информационный вестник ВОГИС. 2009. Т. 13. № 2. С. 336–344.

7. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
8. Седов Е.Н. Селекция и новые сорта яблони. Орел: ВНИИСПК, 2011. 624 с.
9. Седов Е.Н., Седышева Г.А., Красова Н.Г. и др. Достоинства и перспективы новых триплоидных сортов яблони для производства // Садоводство и виноградарство. 2017. № 2. С. 24–30.
10. Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Селекция яблони на полиплоидном уровне. Орел: ВНИИСПК, 2008. 368 с.
11. Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Новые диплоидные, триплоидные, иммунные к парше и колонновидные сорта яблони в совершенствовании сортимен-та // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 1. С. 25-31. DOI: 10.30850/vrsn/2022/1/25-31
12. Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Ценные доноры диплоидных гамет для создания триплоидных сортов яблони // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 3. С. 13–17. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/13-17
13. Янчук Т.В., Седов Е.Н., Корнеева С.А., Вепринцева М.В. Тургеневское и тренер Петров – новые триплоидные сорта яблони селекции ВНИИСПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 66–69. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/66-69
14. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding // Planta. 2016. Vol. 243. PP. 281–296. DOI: 10.1007/s00425-015-2450-x
15. Švara A., Ilnikar K., Carpentier S. et al. Polyploidy affects the development of *Venturia inaequalis* in scab-resistant and -susceptible apple cultivars // Scientia Horticulturae. 2021. 290 p. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110436
16. Wójcik D., Marat M., Marasek-Ciofakowska A. et al. Apple Autotetraploids – Phenotypic Characterisation and Response to Drought Stress // Agronomy. 2022 Vol. 12. 161 p. DOI: 10.3390/agronomy12010161

REFERENCES

1. Zhuchenko A.A. Adaptivnaya sistema selekcii rastenij (ekologicheskie osnovy). M.: RUDN, 2001. T. I. 780 s.
2. Zhuchenko A.A. Ekologicheskaya genetika kul'turnyh rastenij i problemy agrosfery (teoriya i praktika). M.: Agrorus, 2004. T. I. 690 s.
3. Kaptar' S.G. Uskorennyj propionovo-lakmoidnyj metod prigotovleniya i okrashivaniya vremennyh citologicheskikh preparatov dlya podscheta hromosom u rastenij // Citologiya i genetika. 1967. T. 1. № 4. S. 87–90.
4. Parfenov V.I., Dmitrieva S.A. Rol' poliploidii v evolyucii rastenij v usloviyah umerennogo klimata i ravninnogo rel'efa (na primere flory Belorussii) // Izvestiya AN BSSR. ser. biol. nauk. 1991. № 3. S. 39.

5. Pausheva Z.P. Praktikum po citologii rastenij. Moskva: Kolos, 1980. 304 s.
6. Pershina L.A. O roli otdalenoj gibrizacii i poliploidii v volyucii rastenij // Informacionnyj vestnik VOGIS. 2009. T. 13. № 2. S. 336–344.
7. Sedov E.N. Selekcija i novye sorta yabloni. Orel: VNIISPК, 2011. 624 s.
8. Sedov E.N., Sedysheva G.A., Krasova N.G. i dr. Dostoinstva i perspektivy novyh triploidnyh sortov yabloni dlya proizvodstva // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2017. № 2. S. 24–30.
9. Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. Selekcija yabloni na poliploidnom urovne. Orel: VNIISPК, 2008. 368 s.
10. Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneeva S.A. Novye diploidnye, triploidnye, immunnye k parshe i kolonovidnye sorta yabloni v sovershenstvovanii sortimenta // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 1. S. 25–31. DOI: 10.30850/vrsn/2022/1/25-31
11. Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneeva S.A. Cennye donory diploidnyh gamet dlya sozdaniya triploidnyh sortov yabloni // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2020. № 3. S. 13–17. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/13-17
12. Programma i metodika sortoizucheniya plodovyh, yagodnyh i orekhoplodnyh kul'tur/ Pod red. E.N. Sedova i T.P. Ogol'covej. Orel: VNIISPК, 1999. 608 s.
13. Yanchuk T.V., Sedov E.N., Korneeva S.A., Veprinceva M.V. Turgenevskoe i trener Petrov – novye triploidnye sorta yabloni selekcii VNIISPК // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 6. S. 66–69. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/66-69
14. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding // Planta. 2016. № 2432. P. 281–296. DOI: 10.1007/s00425-015-2450-x
15. Švara A., Ilnikar K., Carpentier S. et al. Polyploidy affects the development of Venturia inaequalis in scab-resistant and -susceptible apple cultivars // Scientia Horticulturae. 2021. 290 p. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110436
16. Wójcik D., Marat M., Marasek-Ciołakowska A et al. Apple Autotetraploids – Phenotypic Characterisation and Response to Drought Stress // Agronomy. 2022. Vol. 12. 161 p. DOI: 10.3390/agronomy12010161

Поступила в редакцию 23.11.2023

Принята к публикации 07.12.2023

МЕЖВИДОВОЕ СКРЕЩИВАНИЕ В СЕЛЕКЦИИ КРЫЖОВНИКА КАК ОСНОВА СОЗДАНИЯ СОРТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА*

Олег Владимирович Курашев, кандидат сельскохозяйственных наук

Зоя Евгеньевна Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук

Сергей Дмитриевич Князев, доктор сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская обл., Россия

E-mail: kurashov@vniispk.ru

Аннотация. Для оптимального возделывания крыжовника необходимы сорта промышленного типа, поэтому изучение хозяйственно полезных параметров (устойчивость к болезням и вредителям, урожайность, высокие товарные качества ягод, пригодность к комбайновой уборке урожая) очень актуально. Цель работы – исследование отдаленных гибридов крыжовника, выведенных на генетической основе привлеченного в гибридизацию вида крыжовника мощного *Grossularia robusta* по основным хозяйственно-биологическим признакам. Объект изучения – формы крыжовника, полученные от отдаленной (межвидовая) гибридизации с *Grossularia robusta*. Оценили степень поражения американской мучнистой росой, качество ягод и пригодность к машинной уборке. В результате были выделены перспективные отборные формы F_2 9-283-1(2) и F_2 9-283-1(6) (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × *Grossularia robusta*), представляющие интерес для дальнейшей практической селекции крыжовника при создании коммерческих сортов промышленного типа.

Ключевые слова: *Grossularia robusta*, гибриды, механизированная уборка урожая, габитус куста, масса ягод, мучнистая роса, вкусовые качества ягод, водный режим

INTERSPECIFIC CROSSING IN GOOSEBERRY BREEDING AS THE BASIS FOR THE INDUSTRIAL-TYPE VARIETIES CREATION

O.V. Kurashov, PhD in Agricultural Sciences

Z.E. Ozhereleva, PhD in Agricultural Sciences

S.D. Knyazev, Grand PhD in Agricultural Sciences

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, d. Zhilina, Oryol region, Russia

E-mail: kurashov@orel.vniispk.ru

Abstract. For optimal cultivation of gooseberries, the presence of industrial-type cultivars plays an important role, therefore, the study of economically useful parameters, such as resistance to diseases and pests, productivity, high commercial qualities of berries, suitability for combine harvesting is relevant. Consequently, the goal of the present research was to study remote gooseberry hybrids obtained on the genetic basis of a mighty gooseberry species (*Grossularia robusta*) involved in hybridization according to the main economic and biological characteristics. Selected gooseberry forms obtained from the remote (interspecific) hybridization with *Grossularia robusta* species were the studied material. The degree of damage by the American powdery mildew, the quality of berries and suitability for machine harvesting were assessed. As a result of the long-term study of hybrid offspring obtained from interspecific crosses, promising selected forms F_2 9-283-1(2) and F_2 9-283-1(6) (seedlings from the open pollination from the family 142-x36-12 × *Grossularia robusta*) have been identified, which are of interest for further practical breeding of gooseberries when creating commercial cultivars of industrial type.

Keywords: *Grossularia robusta*, hybrids, mechanized harvesting, bush habitus, berry mass, powdery mildew, berry flavor, water regime

Основные причины падения интереса к выращиванию крыжовника у фермеров и частных предпринимателей: отсутствие сортов, совмещающих в себе комплекс хозяйственно полезных признаков и позволяющих проводить механизированную уборку урожая; трудоемкость возделывания; сложность выращивания посадочного материала (часто низкий коэффициент размножения). [3]

Новые сорта крыжовника, выведенные в последние годы, по сумме хозяйственных признаков превосходят исходные формы. Однако у них не

полностью реализован потенциал максимального фенотипического выражения генетически детерминированных признаков видов и форм данной культуры. [1, 4, 6, 11, 15]

Актуальное направления селекции крыжовника – качество плодов, урожайность, устойчивость к американской мучнистой росе (AMP), антракнозу, септориозу, бесшипность или слабая шиповатость побегов, зимостойкость, технологичность при производстве ягод и посадочного материала, пригодность к механизированной уборке урожая.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ и тематического плана ВНИИСПК «Создание новых конкурентоспособных, адаптивных сортов ягодных культур с использованием инновационных методов селекции и разработка экологически безопасных элементов технологии выращивания и переработки» (FGZS-2022-0007) / The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the VNIISPk thematic plan “Creation of new competitive, adaptive varieties of berry crops using innovative breeding methods and development of environmentally friendly elements of cultivation and processing technology” (FGZS-2022-0007).

Технологичность сорта определяется легкостью размножения, скороплодностью, пригодностью его к механизированной уборке. [2, 8, 9, 12–14, 16]

Цель работы – изучить основные хозяйственно-биологических признаки отдаленных гибридов крыжовника, полученных на генетической основе привлеченного в гибридизацию вида крыжовника мощного *Grossularia robusta*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ метеорологических данных за 2019–2021 годы показал, что в течение вегетационного периода было неравномерное распределение осадков и температуры. Из таблицы 1 видно, что наименьшая влагообеспеченность отмечена в июне 2019 года (осадки – 39 мм, сумма активных температур – 620°С), что характеризовало данный месяц как засушливый и неблагоприятный для налива плодов крыжовника. В целом ГТК вегетационного периода 2019 года показал значительное превалирование по влагообеспеченности – сумма осадков 344 мм. В 2020 и 2021 годах метеорологические условия критических периодов формирования плодов складывались благополучно, ГТК 2020 и 2021 годов были ближе к норме – 1,3 и 1,1 соответственно.

Объект изучения – гибридные семьи, полученные от отдаленной (межвидовая) гибридизации с крыжовником *Grossularia robusta*, а также отборные формы, как наиболее перспективные сеянцы с оптимальным комплексом хозяйственно полезных признаков, отобранные из этих семей.

Крыжовник мощный – *Grossularia robusta* (Jancz.) Berger [*Grossularia nivea* (Lindl.) Spach × *Grossularia inermis* (Rydb.) Cov. And Britt] (рис. 1, 2-я стр. обл.). Куст сильнорослый, достигающий 2 м высоты, пряморослый. Побеги многочисленные, слабошиповатые. Шипы тонкие, одно-трехраздельные, на 1/2 верхней части побега часто отсутствуют. Листья средней величины, трех-пятилопастные, сердцевидные, лопасти короткие, тупые. Цветки крупные, ярко-розовые, декоративные. Плоды очень мелкие (0,3...0,7 г), круглые, темно-пурпуровые, почти черные, с легким пушком, кислые, съедобные. Представляет определенную ценность для селекции по устойчивости к АМР и слабую шиповатость. И.В. Попова считала, что использовать повторные межвидовые скрещивания с *Grossularia robusta* интересно в селекционной работе на бесшипность и слабую шиповатость, К.Д. Сергеева, получила несколько перспективных слабошиповатых форм – № 2-4, Слабошиповатый черноплодный. [10]

Оценку устойчивости к АМР проводили визуально, когда наиболее восприимчивые сортообразцы были повреждены на 3...4 балла. Поражение ягод мучнистой расой учитывали перед созреванием, при этом отмечали число пораженных в пробе из 100 ягод в каждой повторности. Применяли шкалу: 0 – поражения нет; 1 – очень слабое (единичные листья, до 1% ягод); 2 – слабое (до 1/4 длины побега, до 25% листьев, 1...3% ягод); 3 – среднее (от 1/4 до 1/3 длины побега, 26...50% листьев, 4...10% ягод); 4 – сильное (от 1/3 до 1/2 длины побега, 51...70% листьев 11...20% ягод); 5 – очень сильно (более 1/2 длины побега, более 70% листьев, более 20% ягод).

Товарные и потребительские качества ягод у крыжовника – масса ягоды, одномерность, вкус, привлекательность внешнего вида. Среднюю массу ягод определяли взвешиванием в стационарных условиях по 100 ягод в каждой повторности. Ягоды для этого обрывали подряд без выбора. Результат делили на 100 и получали среднюю массу ягоды в граммах. Сорта крыжовника по массе 100 ягод (в граммах) ранжировали (в баллах) по градации: 1 – очень низкая, < 200 г; 3 – низкая, 201...250 г; 5 – средняя, 251...400 г; 7 – высокая, 401...600 г; 9 – очень высокая, > 600 г. Для нахождения максимальной массы ягоды взвешивали 50...100 наиболее крупных ягод.

Один из лимитирующих параметров, говорящий о пригодности ягод к комбайновой уборке, – усилие раздавливания и усилие отрыва, изучали в период полного созревания ягод. Эти показатели характеризуют качество механизированной уборки урожая (усилие отрыва ягод) и степень транспортабельности ягод (усилие раздавливания ягод). Для условий механизированной уборки урожая ягоды крыжовника должны соответствовать физико-механическим свойствам: форма – округлая, округло-коническая; масса – более 1,2 г; усилие отрыва (определяли в период уборки с интервалом в два дня) – 150...300 г; раздавливания – не менее 200 г.

Главная характеристика ягод – коэффициент их относительной прочности:

$$K = \frac{P_{\text{раздавливания}} - P_{\text{отрыва}}}{P_{\text{раздавливания}}},$$

где $P_{\text{раздавливания}}$ – усилие раздавливания ягод, г; $P_{\text{отрыва}}$ – усилие отрыва ягод, г.

Пригодными к механизированному сбору считали сорта, у которых этот параметр превышал 0,8.

Вкусовые достоинства ягод первоначально определяли в полевых условиях при полном созревании. Вкус оценивали по шкале: 1 – очень плохой, кислый с горечью, нетипичный для вида; 2 – плохой, кислый, но типичный; 3 – посредственный, сладко-кислый; 4 – хороший, кисло-сладкий; 5 – отличный, сладкий, с ароматом.

Работы по оценке сортов и гибридных сеянцев на пригодность к машинной уборке ягод проводили в фазе их полного созревания. Усилие отрыва ягод определяли с помощью прибора «Дина-2», раздавливания ягоды – «Плодтест-1» (Россия).

Показатели водного режима листьев крыжовника исследовали согласно методическим рекомендациям. [7] Пробы листьев брали в сухую жаркую погоду, в утренние часы. Засухоустойчивость устанавливали методом обезвоживания в двукратной повторности по пять листьев в каждой, длительность – 4 ч при температуре 24°С.

Результаты статистически обрабатывали с помощью компьютерной программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По многолетним данным вид *Grossularia robusta* абсолютно не поражался листовыми пятнистостями (рис. 1а, 2-я стр. обл.). Анализ устойчивости к антракнозу и септориозу у гибридов, получен-

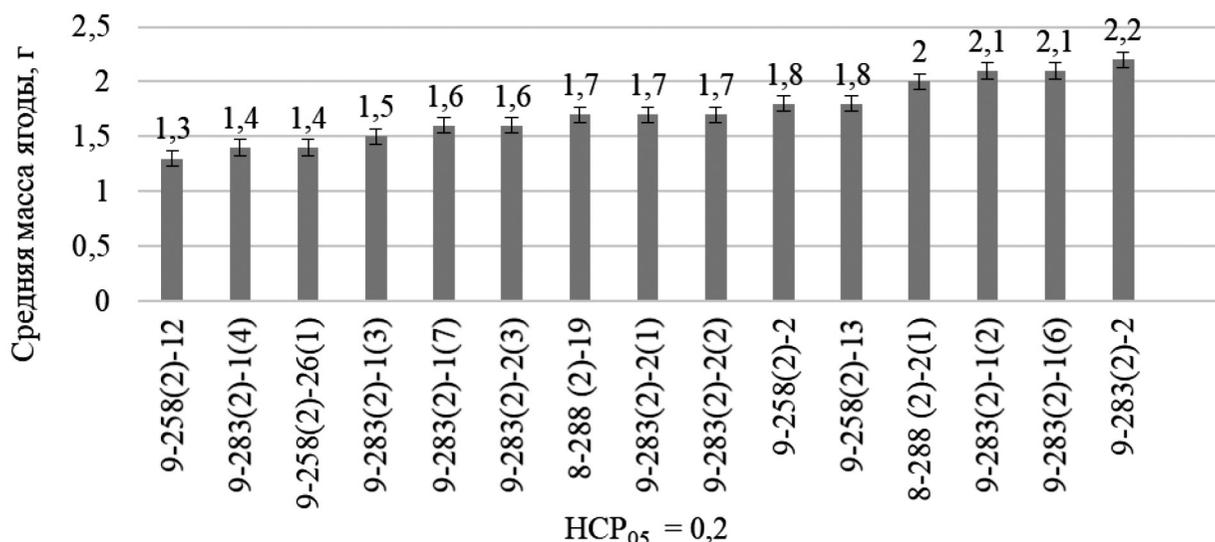


Рис. 4. Средняя масса ягоды у отборных форм крыжовника F₂, 2019–2021 годы.

ных с участием *Grossularia robusta*, показал, что во всех гибридных семьях преобладают сеянцы либо с отсутствием признаков поражения, либо с незначительной степенью таковых от 0 до 1,0...1,5 балла (рис. 1б, 2-я стр. обл.). Единичные сеянцы с максимальным баллом поражения (до 2,0...2,5) наблюдали в семьях 258 (13-15-1 × *Grossularia robusta*) (рис. 2а, 2-я стр. обл.) и 288 (151-НС-7 × *Grossularia robusta*) (рис. 2б, 2-я стр. обл.), 250 (23-17-10 × *Grossularia robusta*) (рис. 2в, 2-я стр. обл.) и 283 (142-х36-12 × *Grossularia robusta*) (рис. 2г, 2-я стр. обл.).

У большинства гибридных сеянцев, полученных от отдаленных скрещиваний, наблюдали полное отсутствие признаков поражения АМР. В 2021 году было поражение АМР до 0,5...1,0 балла макушек побегов и единичных плодов у сеянцев из семьи 263 (24-14-23 × *Grossularia robusta*) (рис. 3а, 2-я стр. обл.), 288 (151-НС-7 × *Grossularia robusta*) (рис. 3б, 2-я стр. обл.) и 289 (152-х32-23 × *Grossularia robusta*) (рис. 3в, 2-я стр. обл.), максимальное – до 3,5 баллов в семье 282 (152-х32-24 × *Grossularia robusta*)

(рис. 3г, 2-я стр. обл.). У остальной массы сеянцев в этих семьях не наблюдали даже гиперчувствительности к данному патогену. Такая статистика поражения единичных сеянцев в некоторых семьях и с незначительным баллом может свидетельствовать, что использование в селекции вида *Grossularia robusta* – эффективный селекционный прием получения гибридного потомства крыжовника высокоустойчивого к поражению АМР.

Анализ по массе ягод у гибридного потомства F₂ с участием *Grossularia robusta* показал, что у всех отборных сеянцев было достоверное превышение данного показателя, по сравнению с отцовским родителем, – *Grossularia robusta*. Средняя масса ягод у большинства сеянцев – 1,3...2,2 г (рис. 4).

Одно из условий, предъявляемое к сортам крыжовника, пригодных для машинной уборки, – минимальное ограничение по массе ягоды (более 1,2 г). Большая часть отборных форм удовлетворяла этому требованию, а некоторые даже превышали: 8-288(2)-2(1) – 2,0 г, 9-283(2)-1(2), 9-283(2)-1(6) –

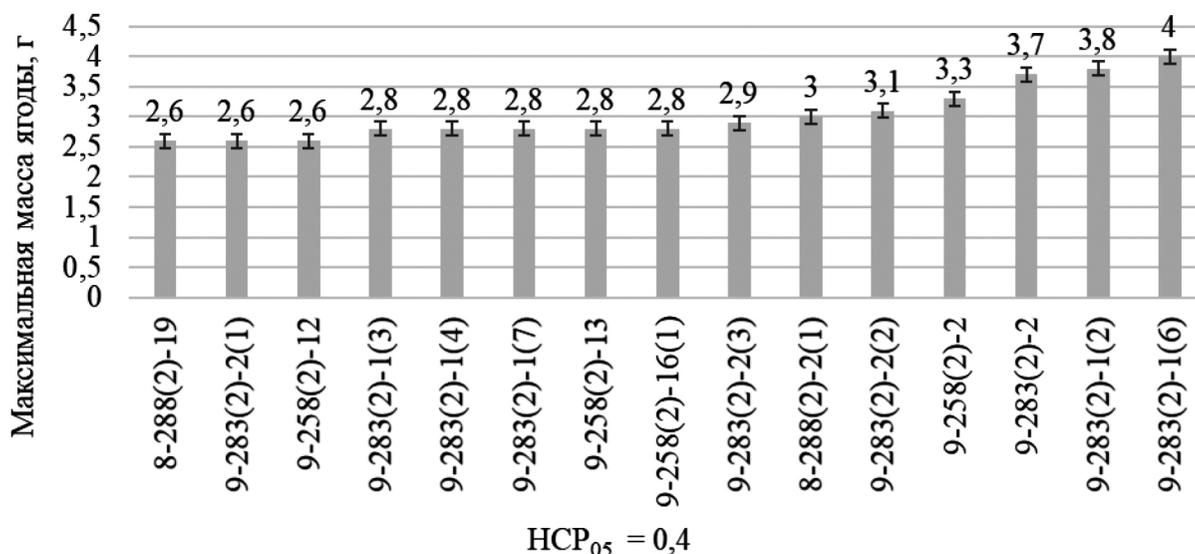


Рис. 5. Максимальная масса ягоды у отборных форм крыжовника F₂, 2019–2021 годы.

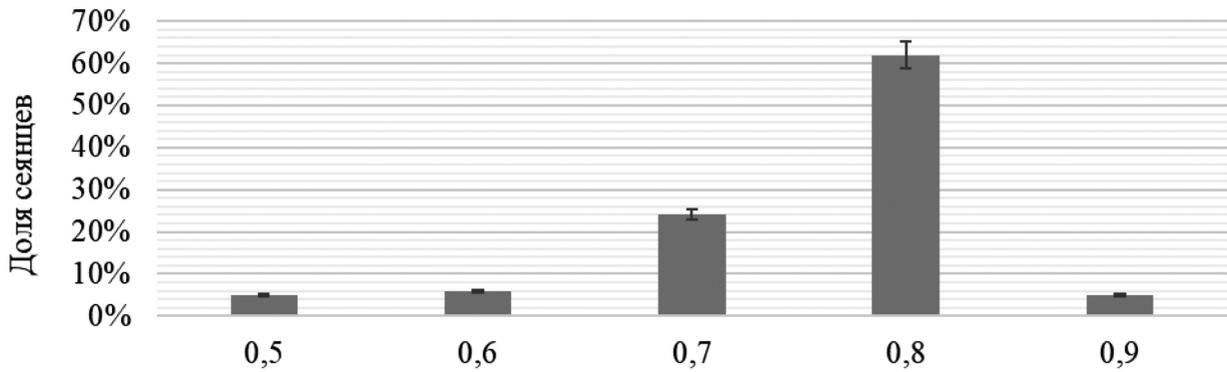


Рис. 7. Коэффициент относительной прочности ягод у отборных форм крыжовника, полученных от отдаленных скрещиваний с *Grossularia robusta*.

2,1 г, 9-283(2)-2 – 2,2 г (рис. 4). Так же в гибридных семьях, полученных от отдаленных скрещиваний с *Grossularia robusta*, обнаружен значительный потенциал по максимальному выражению признака массы ягоды. У преобладающего числа гибридных сеянцев максимальная масса ягоды колебалась от 2,8 до 3,0 г, минимальное – до 2,6 г у 8-288(2)-19, 9-283(2)-2(1), 9-258(2)-12, максимальное – свыше 3,0 г у 9-258(2)-2, 9-283(2)-2, 9-283(2)-1(2) и 9-283(2)-1(6) (рис. 5).

Потомство F_2 показало превышение по массе ягод над указанным видом *Grossularia robusta* в восемь раз (4,0 г – отборная форма 9-283(2)-1(6), 0,5 г – *Grossularia robusta*) (рис. 6, 2-я стр. обл.).

Известно, что характеризуют сорт на пригодность к комбайновой уборке урожая физико-механические свойства ягод (усилие отрыва и раздавливания, коэффициент относительной прочности). Показатель усилия отрыва ягод колебался в диапазоне от 62 (9-283(2)-14(1)) до 423 г (9-288(2)-19), средние значения – 130 (9-258(2)-17(2)) 335 г (9-258(2)-1(6)), у большинства – выше 200 г. Средние показатели усилия раздавливания от 555 (9-283(2)-2(1)) до 2080 г (9-283(2)-1(2)), минимальное (413 г) у 8-288(2)-1, максимальное (2314 г) у 9-283(2)-1(2).

Главный признак физико-механических свойств ягод, который характеризует сорт как пригодный к механизированной уборке, – коэффициент относительной прочности ягод, равный или превышающий 0,8.

В результате исследований, у большинства отборных форм, полученных с участием *Grossularia robusta* (более 60% сеянцев), указанный коэффициент имел оптимальный показатель – 0,8 (рис. 7). Некоторые сеянцы (5 и 6% соответственно) имели низкий коэффициент (0,5 и 0,6), то есть они не соответствовали бы условиям машинной уборки. Среди изученных отборных форм у 5% сеянцев максимальный коэффициент относительной прочности ягод – 0,9.

Один из главных и лимитирующих признаков крыжовника, определяющий его пригодность к механизированной уборке урожая, – габитус куста. Привлекательный в селекцию вид *Grossularia robusta* характеризуется мощным развитием куста (свыше 1,5 м), компактным габитусом, ярко выраженным ортотропным типом роста побегов. Используя меж-

видовую гибридизацию с *Grossularia robusta*, получены растения F_1 и F_2 ортотропного типа роста куста, пригодного для комбайновой уборки урожая. При этом высота кустов варьирует в пределах 1,0...1,5 м, соответствует оптимальному для машинной уборки габитусу. Зона плодоношения у всех форм от 0,3 до 1,5 м, что также соответствует условиям комбайновой уборки урожая. Межвидовые отборные формы крыжовника с ярко выраженным ортотропным ростом побегов и компактным габитусом куста. Даже при большой нагрузке урожая (до 1 кг и выше на плодоносящую ветвь) не было критического полегания ветвей, кусты сохраняли компактный габитус. В гибридном потомстве с *Grossularia robusta* выделяется преобладающая часть растений (до 90%), у которых в полной мере наследуются морфологические признаки вида. Таким образом, признак мощного развития, компактного габитуса куста и ортотропного типа роста побегов хорошо наследуется и проявляется в фенотипе потомства при использовании в межвидовых скрещиваниях *Grossularia robusta*.

Крыжовник относительно засухоустойчивое растение. Однако вопрос устойчивости данной культуры к почвенному и воздушному дефициту влаги остается актуальным. В период интенсивного роста побегов и формирования листового аппарата листья у отборных форм были обводнены больше на 2,5...24,2%, чем в июле. Оводненность при массовом созревании ягод (июль) снизилась в среднем на 6,9% по сравнению с июлем, так как происходит интенсивный отток воды из других органов в ягоды (табл. 1).

В июне у большинства форм был низкий водный дефицит листьев (не более 10,0%) в полевых условиях, в июле в среднем на 6,9%, по сравнению с июнем, что связано с процессом роста и созревания ягод, а также возрастным состоянием листьев. Ткани молодых листьев более обводнены, чем старые (табл. 2).

При моделировании засухи в июле наблюдали повышение водного дефицита в листьях в среднем на 4,1%, по сравнению с июнем. Минимальная величина водного дефицита листьев у 9-258(2)-26(1), 9-258(2)-2, 9-283(2)-1(6) и 9-283(2)-2(3) (табл. 3). Указанные генотипы способны удерживать и более экономно расходовать воду в условиях засухи. Выявлены формы с наибольшим потенциалом засухоустойчивости 9-258(2)-26(1), 9-258(2)-2 и 9-283(2)-1(6), 9-283(2)-2(3).

Таблица 1.

Оводненность листьев крыжовника, 2020-2021 годы

Форма	Оводненность тканей листьев, %		
	июнь	июль	среднее
семья от сводного опыления F ₂ (свободное опыление 13-15-1 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-258(2)-26(1)	71,7	60,5	66,1
9-258(2)-2	70,7	66,7	68,7
Сеянцы F ₂ (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-283(2)-1(2)	67,9	62,9	65,4
9-283(2)-1(6)	69,6	64,1	66,8
9-283(2)-2(3)	67,2	64,7	65,9
9-283(2)-1	67,7	57,5	62,6
Среднее, %	70,1	63,2	66,6
НСР ₀₅	4,2	4,8	3,6

Таблица 2.

Водный дефицит листьев крыжовника в полевых условиях, 2020-2021 годы

Форма	Водный дефицит листьев, %		
	июнь	июль	среднее
семья от сводного опыления F ₂ (свободное опыление 13-15-1 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-258(2)-26(1)	5,9	21,1	13,5
9-258(2)-2	9,8	13,7	11,8
Сеянцы F ₂ (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-283(2)-1(2)	5,2	12,0	8,6
9-283(2)-1(6)	5,9	17,2	11,6
9-283(2)-2(3)	7,9	9,9	8,9
9-283(2)-1	10,0	19,1	14,6
Среднее, %	8,3	15,2	11,6
НСР ₀₅	4,6	5,0	3,8

Таблица 3.

Водный дефицит листьев крыжовника после моделирования засухи, 2020-2021 годы

Форма	Водный дефицит листьев, %		
	июнь	июль	среднее
семья от сводного опыления F ₂ (свободное опыление 13-15-1 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-258(2)-26(1)	17,5	20,9	19,2
9-258(2)-2	23,6	17,8	20,7
Сеянцы F ₂ (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × <i>Grossularia robusta</i>)			
9-283(2)-1(2)	25,3	35,2	30,3
9-283(2)-1(6)	18,8	33,7	23,3
9-283(2)-2(3)	13,7	28,2	21,0
9-283(2)-1	25,3	22,7	24,0
Среднее, %	22,7	26,8	25,7
НСР ₀₅	14,5	12,2	10,5

Использование в селекции крыжовника межвидовых скрещиваний с *Grossularia robusta* позволяет получать потомство с высоким адаптивным потенциалом к неблагоприятным абиотическим факторам среды и устойчивости к дефициту почвенной и воздушной влаги.

В результате многолетнего изучения гибридных сеянцев выделены перспективные отборные

формы, представляющие интерес для дальнейшей практической селекции крыжовника при создании коммерческих сортов промышленного типа. Краткая характеристика некоторых из них приведена ниже.

Отборный сеянец F₂ 9-283-1(2) (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × *Grossularia robusta*). Куст сильнорослый, компактный, с ортотропными побегами. Слабошиповатый – шипы средние и мелкие, одинарные, отклонены вниз. Превалируют побеги с размещением шипов только в срединной части (два-три узла), верхняя и базальная части побега лишены шипов. Большая нагрузка урожаем (3,5...4,0 кг/куст). Ягоды средние (средняя масса – 2,1, максимальная – 3,7 г). В биологической спелости красные и светло-красные, округлые, дегустационная оценка свежих ягод – 4,0 балла. Поражение плодов и листьев АМР не отмечено (0 баллов), слабое листовыми пятнистостями (до 1,5 баллов).

Отборный сеянец F₂ 9-283-1(6) (свободное опыление из семьи 142-х36-12 × *Grossularia robusta*). Куст сильнорослый, компактный, с ортотропными побегами. Слабошиповатые побеги – шипы очень мелкие, одинарные, единичные (только в срединной части побега), верхняя и базальная части побега лишены шипов. На превалирующей части однолетнего прироста и нулевых побегах шипы отсутствуют. Большая нагрузка урожаем (3,5...4,0 кг/куст). Ягоды средние и крупные (средняя масса – 2,1, максимальная – 4,0 г). В биологической спелости красные и светло-красные, округлые, дегустационная оценка свежих ягод – 4,0 балла. Поражение плодов и листьев АМР не отмечено (0 баллов), слабое листовыми пятнистостями (до 1,5 баллов).

Таким образом, в результате многолетней и широкомасштабной селекционной программы по использованию в гибридизации крыжовника отдаленных (межвидовые) скрещиваний с *Grossularia robusta*, доказано, что привлечение в селекцию данного вида позволяет получать гибридное потомство, хорошо наследующее ряд важных признаков (высокая устойчивость к поражению АМР и листовыми пятнистостями, ортотропный характер роста куста, выносливость к ряду неблагоприятных абиотических факторов среды). Все это создает отличную перспективу и основания для создания на геномном базисе полученных межвидовых гибридов с *Grossularia robusta* форм крыжовника, оптимально соответствующих модели коммерческих сортов промышленного типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бученков И.Э. Создание исходного селекционного материала плодово-ягодных культур (смородина черная и красная, крыжовник, микровишня войлочная, черешня, айва обыкновенная). Минск: Право и экономика, 2013. 201 с.
2. Ильин В.С. Крыжовник. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 2007. 280 с.
3. Ковешникова Е.Ю. Биологические особенности сортов крыжовника в связи с механизированной уборкой урожая // Плодоводство и ягодоводство России. 2004. № 11. С. 411–420.
4. Ковешникова Е.Ю. Перспективы промышленного производства плодов крыжовника // Садоводство и виноградарство. 2001. № 3. С. 24–27.

5. Ковешникова Е.Ю. Совершенствование технологии производства плодов крыжовника на основе механизированной уборки урожая // Вестник МичГАУ. 2012. № 3. С. 80–85.
6. Косякин А.С. Полвека научных исследований по экономике садоводства (1950–2000) // История, современность и перспективы садоводства России: мат. Межд. конф. М., 2000. С. 344–385.
7. Леонченко В.Г., Евсеева Р.П., Жбанова Е.В., Черенкова Т.А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов. Мичуринск, 2007. 72 с.
8. Попова И.В. Селекция крыжовника в Подмоскowie // Современное состояние культур смородины и крыжовника. 2007. С. 132–141.
9. Салыкова В.С. Хозяйственно-биологическая оценка отборных форм отдаленных гибридов смородины черной в условиях умеренно засушливой и колочной степи Алтайского Приобья: автореф. дис ... канд. с.-х. наук: 06.01.07. Барнаул, 2008. 19 с.
10. Сергеева К.Д. Крыжовник. М.: Агропромиздат, 1989. 206 с.
11. Сорокопудов В.Н., Калугина С.В., Кухарук Н.С. и др. Селекционная оценка сортов крыжовника на пригодность к механизированной уборке урожая // Вестник КрасГАУ. 2020. № 4. С. 80–87. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-4-80-87
12. Толстогузова В.Г. Уральский крыжовник в Подмоскowie // Приусадебное хозяйство. 2014. № 1. С. 26.
13. Day E. Mechanical harvesting of soft fruit // The Agricultural Engineer. 1981. V. 36. № 2. P. 45–47.
14. Neumann U., Sorg P. Sorten fur industriemassing Produktion von Strauchbeerenobst // Gartenbau. 1977. V. 24. No. 7. P. 213–214.
15. Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Kurashev O.V., Krivushina D.A. Tolerance of gooseberry varietiesto maximally low temperature in the middle of winter // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. V. 24. № 6. P. 1053–1058.
16. Ourecky D. Promising small fruit varieties for V-pick operation // Proc. Ann. Meet. New-York State Hortic. Soc. Rochester, N.-Y. 1978. V. 123. P. 107–113.
2. Il'in V.S. Kryzhovnik. Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skoe kn. izd-vo, 2007. 280 с.
3. Koveshnikova E.Yu. Biologicheskie osobennosti sortov kryzhovnika v svyazi s mekhanizirovannoj uborkoj urozhaya // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2004. № 11. S. 411–420.
4. Koveshnikova E.Yu. Perspektivy promyshlennogo proizvodstva plodov kryzhovnika // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2001. № 3. S. 24–27.
5. Koveshnikova E.Yu. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva plodov kryzhovnika na osnove mekhanizirovannoj uborki urozhaya // Vestnik MichGAU. 2012. № 3. S. 80–85.
6. Kosyakin A.S. Polveka nauchnyh issledovaniy po ekonomike sadovodstva (1950–2000) // Istoriya, sovremenost' i perspektivy sadovodstva Rossii: mat. Mezhd. konf. M., 2000. S. 344–385.
7. Leonchenko V.G., Evseeva R.P., Zhbanova E.V., Cherenkova T.A. Predvaritel'nyj otbor perspektivnyh genotipov plodovyh rastenij na ekologicheskuyu ustojchivost' i biokhimicheskuyu cennost' plodov. Michurinsk, 2007. 72 с.
8. Popova I.V. Selekcija kryzhovnika v Podmoskov'e // Sovremennoe sostoyanie kul'tur smorodiny i kryzhovnika. 2007. С. 132–141.
9. Salykova V.S. Hozyajstvenno-biologicheskaya ocenka otbornyh form otdalennyh gibridov smorodiny chernoj v usloviyah umerenno zasushlivoj i kolochnoj stepi Altajskogo Priob'ya: avtoref. dis ... kand. s.-h. nauk: 06.01.07. Barnaul, 2008. 19 с.
10. Sergeeva K.D. Kryzhovnik. M.: Agropromizdat, 1989. 206 с.
11. Sorokopudov V.N., Kalugina S.V., Kuharuk N.S. i dr. Selekcionnaya ocenka sortov kryzhovnika na prigodnost' k mekhanizirovannoj uborke urozhaya // Vestnik KrasGAU. 2020. № 4. S. 80–87. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-4-80-87
12. Tolstoguzova V.G. Ural'skij kryzhovnik v Podmoskov'e // Priusadebnoe hozyajstvo. 2014. № 1. S. 26.
13. Day E. Mechanical harvesting of soft fruit // The Agricultural Engineer. 1981. V. 36. № 2. P. 45–47.
14. Neumann U., Sorg P. Sorten fur industriemassing Produktion von Strauchbeerenobst // Gartenbau. 1977. V. 24. No. 7. P. 213–214.
15. Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Kurashev O.V., Krivushina D.A. Tolerance of gooseberry varietiesto maximally low temperature in the middle of winter // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. V. 24. № 6. P. 1053–1058.
16. Ourecky D. Promising small fruit varieties for V-pick operation // Proc. Ann. Meet. New-York State Hortic. Soc. Rochester, N.-Y. 1978. V. 123. P. 107–113.

REFERENCES

Поступила в редакцию 22.01.2023
Принята к публикации 05.02.2023

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПРОСА В КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Ирина Мироновна Ханиева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: 0000-0002-6415-5832

Индира Михайловна Хамокова, аспирант, ORCID: 0000-0002-6646-0152

Абдулкерим Назирович Джуртубаев, студент

Тамерлан Азаматович Коков, студент

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова,

г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

E-mail: imhanieva@mail.ru

Аннотация. В статье изучена эффективность использования минеральных удобрений, стимуляторов роста и бактериальных препаратов в технологии возделывания проса посевного. Исследования проводили в 2021–2023 годах на опытном поле Кабардино-Балкарского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в степной зоне КБР. Объект изучения – среднепоздний сорт проса Кавказские зори селекции КБНИИСХ. Инокуляцию семян Ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter*) и Азофитом (*Azotobacter vinelandii*) осуществляли в день посева, экзогенное опрыскивание растений стимуляторами роста Мивал Агро (10 г/га), МС-экстра (0,5 кг/га) – в фазе трех листьев. Обработка семян биопрепаратами Ризоагрином и Азофитом увеличивает полевую всхожесть на 8,9 и 5,3% соответственно, относительно контроля. Также они положительно влияют на сохранность растений к уборке. Использование биопрепаратов обеспечивает прибавку урожайности проса 0,38–0,54 т/га к контролю, удобрений – 0,64 т/га, стимуляторов роста – 0,27–0,46 т/га. Максимальная продуктивность достигнута с биопрепаратом Ризоагрин и стимулятором роста МС-экстра на фоне $N_{10}P_{26}K_{26}$ – 2,48 т/га.

Ключевые слова: Кабардино-Балкарская Республика, просо, биопрепарат, стимулятор роста, прибавка урожая

IMPROVEMENT MILLET CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC

I.M. Khanieva, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

I.M. Khamokova, *PhD Student*

A.N. Dzhurtubaev, *Student*

T.A. Kokov, *Student*

Kabardino-Balkar State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

E-mail: imhanieva@mail.ru

Abstract. The article studies the effectiveness of using mineral fertilizers, growth stimulants and bacterial preparations in the cultivating millet technology. The research was carried out in 2021–2023 on the experimental field of the Kabardino-Balkarian Scientific Research Institute of Agriculture, which located in the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic. The object of study is the mid-late millet variety Kavkazskie Zori, bred by Kabardino-Balkarian Research Institute of Agriculture. Inoculation of seeds with Rizoagrין (*Agrobacterium radiobacter*) and Azofyte (*Azotobacter vinelandii*) was carried out on the day of sowing, exogenous spraying of plants with growth stimulants Mival Agro (10 g/ha), MS-extra (0.5 kg/ha) – in the three-leaf phase. Treatment of seeds with biological preparations Rizoagrין and Azofit increases field germination by 8.9 and 5.3%, respectively, relative to the control. They also have a positive effect on the preservation of plants for harvesting. The usage of biological products provides an increase in the yield of millet by 0.38–0.54 t/ha compared to the control, fertilizers – 0.64 t/ha, growth stimulants – 0.27–0.46 t/ha. Maximum productivity was achieved with the biological product Rizoagrין and the growth stimulator MS-extra against the background of $N_{10}P_{26}K_{26}$ – 2.48 t/ha.

Keywords: Kabardino-Balkarian Republic, millet, biological product, growth stimulant, crop increase

Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций провозгласила 2023 год **Международным годом проса**. [11] Просо посевное относится к стратегическим злакам. Выращивание этой культуры – эффективный способ увеличения продовольственной самообеспеченности страны и снижения ее зависимости от импорта зерновых. Стратегическую ценность определяют ее биологические особенности (скороспелость, засухоустойчивость, высокий коэффициент размножения, болезнеустойчивость). Благодаря им просо может занимать одно из ведущих мест среди крупных культур и способствовать достижению ЦУР 2

(Ликвидация голода) и ЦУР 13 (Меры по борьбе с изменением климата).

Наращивание производства проса связано с внедрением новых элементов в технологию, учитывающих биологические особенности культуры. Использование проса в качестве страховой культуры в поукосных и пожнивных посевах дает широкие возможности практикам, особенно с изменением климата. [5] Основное направление увеличения объемов производства – повышение урожайности крупных культур, при условии совершенствования технологии их выращивания. Внедрение экологических принципов в производ-

ство продукции растениеводства стало актуальной задачей. Один из технологических компонентов этого процесса – частичная замена минерального азота биологическим. Новые технологии занимают ведущее положение в создании и обеспечении оптимальных условий для полной реализации генетического потенциала растений. Управление вегетационным процессом новых сортов проса с использованием биопрепаратов и стимуляторов роста приводит к повышению продуктивности, рентабельности растениеводства и биоэнергетической эффективности. [4, 8] Малозатратными инструментами управления продукционными процессами считаются регуляторы роста растений. С увеличением засухоустойчивости проса будет расти продуктивность. [2, 10]

Цель работы – повышение продуктивности проса сорта *Кавказские зори* с применением минерального удобрения, стимуляторов роста и бактериальных препаратов в условиях степной зоны КБР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение эффективности использования минеральных удобрений, стимуляторов роста и бактериальных препаратов в технологии возделывания проса сорта *Кавказские зори* проводили в 2021–2023 годах на опытном поле Кабардино-Балкарского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в степной зоне КБР. Почва – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый на карбонатных глинах, мощность гумусового профиля в среднем 51 см, содержание гумуса – 3,4%, рН_{сол} – 6,8, ГТК – 0,9...1,1. Сумма осадков за апрель-август по годам: 2021 – 330,2 мм, 2022 – 235,5, 2023 – 302,5 мм. Объект изучения – среднепоздний сорт проса *Кавказские зори* селекции КБНИИСХ, включен в реестр допущенных в 2016 году, рекомендован для возделывания в Кабардино-Балкарской Республике. Посевная площадь делянки – 25 м², учетная – 20 м². Повторность четырехкратная. Норма высева – 3 млн всх. сем./га. Высевали просо на делянках обычным рядовым способом в 2021 году – 18 мая, 2022 – 29 апреля, 2023 – 24 мая. Инокуляцию семян Ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter*) и Азофитом

(*Azotobacter vinelandii*) проводили в день посева. Экзогенное опрыскивание растений стимуляторами роста Мивал Агро (10 г/га), МС-экстра (0,5 кг/га) осуществляли в фазе трех листьев. Экспериментальную часть работы проводили на основании общепринятой методики полевого опыта Б.А. Доспехова. [3]

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначальное условие достижения максимальной урожайности сельскохозяйственных культур – формирование агроценоза с оптимальной плотностью продуктивных стеблей к моменту уборки. Для его выполнения важно, чтобы густота всходов была высокой. Однако, несмотря на строгое соблюдение норм посева семян, на практике густота всходов может значительно варьировать.

За годы исследований убедились, что обработка семян биопрепаратами Ризоагрином и Азофитом увеличивает полевую всхожесть на 8,9 и 5,3% соответственно, относительно контроля. В варианте внесения минерального удобрения, полевая всхожесть в среднем за три года была ниже, чем в контроле на 4%. Отрицательное воздействие удобрений обусловлено проникновением ионов химических соединений удобрений внутрь зародыша и повреждением семян. При совместном действии минерального удобрения, стимулятора роста и биопрепарата полевая всхожесть была выше контрольного варианта, но ниже, чем с обработкой посевного материала биопрепаратами и посева на фоне природного плодородия (табл. 1). Наиболее высокая полевая всхожесть (контроль – 78,0%) отмечена в 2023 году, когда из-за дождливой погоды в I и II декадах мая сев проводили в поздний срок (24 мая). При раннем сроке сева в 2022 году, также отметили высокие значения полевой всхожести в контроле (75,8%) и вариантах опыта. При оптимальном сроке сева (18 мая) в 2021 году, полевая всхожесть семян в контрольном варианте – 73,0%. Известно, что при ранних сроках посева содержание влаги в посевном слое выше, чем при поздних, что обеспечивает более высокую полевую всхожесть. В мае 2023 года за первые две декады осадки составили 113% относительно среднемесячных много-

Таблица 1.

Влияние минерального удобрения, биопрепаратов, стимуляторов роста на полевую всхожесть и сохранность растений проса сорта *Кавказские зори*, среднее за 2021-2023 годы

Вариант	Количество всходов, шт/м ²	Полевая всхожесть, %	Количество растений к уборке, шт/м ²	Сохранность растений, %
1. Контроль (б/у)	225	75,6	148	65,6
2. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆	216	71,9	166	77,0
3. Ризоагрин	245	81,2	171	69,7
4. Азофит	237	78,9	164	69,4
5. МС-экстра	226	75,4	161	71,2
6. Мивал Агро	227	75,6	160	70,5
7. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Ризоагрин + МС-экстра	234	77,8	178	76,0
8. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Ризоагрин + Мивал Агро	234	77,8	175	75,0
9. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Азофит + МС-экстра	227	75,8	173	76,1
10. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Азофит + Мивал Агро	227	75,8	168	74,3
НСР ₀₅	11,0	3,07	8,11	3,56

летних значений, а температура воздуха III декады мая (посев – 24 мая) превысила средние многолетние данные на 5,8°C. Совокупность благоприятных параметров температурного режима и влажности почвы обеспечила дружные всходы.

Относительно контрольного варианта (65,6%) минеральные удобрения, биопрепараты и стимуляторы роста положительно влияли на сохранность растений проса сорта *Кавказские зори* к уборке.

Применение удобрений способствует укреплению устойчивости растений к болезням и абиотическим факторам среды, что в конечном итоге повышает сохранность урожая, оптимизации обмена веществ, быстрому развитию жизнедеятельности растений. [6, 9] В наших исследованиях минеральное удобрение увеличивало сохранность растений на 11,4%. Обработка семян биопрепаратами положительно повлияла на сохранность растений сорта *Кавказские зори* и увеличивала показатель на 3,8...4,1%, относительно контроля. Обработка вегетирующих растений теми же стимуляторами повышала сохранность растений проса относительно контроля на 3,8...4,9%, комплексное применение биопрепаратов, стимуляторов роста и минеральных удобрений – на 8,7...10,4%. Максимальное количество растений проса (178 шт/м²) отмечено в варианте обработки семян Ризоагрином и вегетирующих растений- МС-экстра на фоне минеральных удобрений, где превышение контрольного варианта составило 20,3%. Незначительно уступал вариант Ризоагрин + Мивал Агро + N₁₀P₂₆K₂₆, он увеличивал контрольные значения на 18,2%. Комплексное применение Азофита и МС-экстра, Азофита и Мивал Агро с N₁₀P₂₆K₂₆ повышало количество растений проса к уборке на 1 м², относительно контроля на 16,9 и 13,5% соответственно. Количество растений проса к уборке на 1 м² в варианте применения минеральных удобрений было выше, чем в тех, где использовали Азофит на 1,2%, стимуляторы роста МС-экстра, Мивал Агро при естественном плодородии на 3,1 и 3,6% соответственно, контрольного варианта – на 10,8%, но на 3,0% меньше, чем в варианте обработки семян проса Ризоагрином.

Хозяйственная ценность агроценоза и эффективность воздействия на физиологические и биохимические процессы, протекающие в растениях

с минеральными удобрениями, стимуляторами роста и биопрепаратами определяется урожайностью.

В контроле, при отсутствии внешнего воздействия, при естественном плодородии в среднем за три года получено 1,65 т/га зерна (табл. 2). С внесением N₁₀P₂₆K₂₆ в предпосевной подготовке почвы вырос урожай зерна на 0,64 т/га (38,8%). Эффективность инокуляции Ризоагрином семян проса была выше, чем с Азофитом. Бактериальный препарат Ризоагрин обеспечил 0,54 т/га дополнительного урожая, прибавка урожая в варианте обработки семян Азофитом – 0,38 т/га. Обработка стимуляторами роста вегетирующих растений повысили урожай проса *Кавказские зори* на 16,4...27,8%.

Комплексное использование Ризоагрина и МС-экстра с минеральными удобрениями привело к максимальному повышению урожая зерна проса (0,83 т/га). Синергетический эффект совместного действия Ризоагрина и Мивал Агро на фоне минеральных удобрений был ниже на 0,13 т/га (7,9%), по сравнению с комплексом N₁₀P₂₆K₂₆ + Ризоагрин + МС-экстра.

Эффективность Азофита + МС-экстра и Мивал Агро + N₁₀P₂₆K₂₆ в повышении урожайности проса сорта *Кавказские зори*, была ниже: дополнительный урожай составил соответственно по стимуляторам 0,71 и 0,67 т/га.

Засухоустойчивость проса посевного объясняется слабой корреляционной зависимостью урожайности культуры от количества осадков. Результатами исследований О.Н. Антимоновой, Л.Ф. Сыркиной (2020) выявлено наличие средней прямой корреляционной зависимости урожайности и количества осадков за межфазный период выметывание-полная спелость (r = 0,44...0,51; d = 19,4...21,2%). [1] Такие же выводы ранее сделали Н.А. Максютова и В.М. Жданова (2016), где причиной низкой урожайности проса указали дефицит осадков в июне-июле и высокие температуры. [7] Климатические условия 2021–2023 годов различались распределением осадков по декадам, а температурный режим был схожим. Среднемесячная температура за май-август превышала средне-многолетние значения на 4,9...25,7%. Количество осадков за апрель-август в 2022 году – 235,5 мм (79,2%), 2021 – 330,2 мм (111,0%), 2023 – 302,5 мм (101,0%). Хотя 2022 год по общим среднемесячным

Таблица 2.

Урожай зерна проса сорта *Кавказские зори* по годам

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка	
	2021	2022	2023	среднее	т/га	% к контролю
1. Контроль (б/у)	1,53	1,68	1,75	1,65	–	
2. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆	2,13	2,34	2,41	2,29	0,64	38,8
3. Ризоагрин	2,08	2,21	2,28	2,19	0,54	32,7
4. Азофит	1,89	2,08	2,13	2,03	0,38	23,0
5. МС-экстра	1,92	2,18	2,22	2,11	0,46	27,8
6. Мивал Агро	1,66	1,94	2,16	1,92	0,27	16,4
7. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Ризоагрин + МС-экстра	2,38	2,46	2,59	2,48	0,83	50,3
8. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Ризоагрин + Мивал Агро	2,27	2,35	2,43	2,35	0,70	42,4
9. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Азофит + МС-экстра	2,22	2,39	2,48	2,36	0,71	43,0
10. N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆ + Азофит + Мивал Агро	2,19	2,34	2,43	2,32	0,67	40,6
НСР ₀₅	0,10	0,11	0,11			

показателям был самый неблагоприятный, урожайность сорта *Кавказские зори* была выше, достигнутой в более влажный 2021 год. Это объясняется благоприятным распределением осадков в критические для культуры месяцы (июнь, июль).

Анализ показателя прибавки урожая (% к контролю) указывает, что при комплексном использовании в технологии выращивания проса минерального удобрения, биопрепарата и стимулятора роста, большая урожайность была в самый влажный 2021 год, прибавка составила – 43,1...55,5% (см. рисунок, 3-я стр. обл). Эффективность комплекса была высокой даже в неблагоприятный по среднемесячным показателям осадков 2022 год – 39,3...46,4%. Действие стимуляторов роста было лучшим в 2022 году (неблагоприятный), по сравнению с 2021 (благоприятный). За годы исследований результативность препарата МС-экстра была выше, чем у Мивал Агро.

Выводы. Сохранность посевов проса сорта *Кавказские зори* находилась в пределах 65,6...76,1%. Инокуляция семян бактериальными препаратами повышает количество растений к уборке на 1 м². Максимальным этот показатель (178 шт./м²) был при комплексном применении Ризоагрин + МС-экстра + N₁₀P₂₆K₂₆.

Использование биопрепаратов обеспечивает прибавку урожайности проса на 0,38...0,54 т/га к контролю, удобрений – 0,64 т/га, стимуляторов роста – 0,27...0,46 т/га. Максимальная продуктивность сорта проса *Кавказские зори* достигнута с биопрепаратом Ризоагрин и стимулятором роста МС-экстра на фоне внесения N₁₀P₂₆K₂₆ – 2,48 т/га.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета 2020. № 10 (163). С. 74–82.
- Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений повышают стрессоустойчивость культур // Защита и карантин растений. 2015. № 2. С. 13–15.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Заводчикова Л.Д., Варавва В.Н., Берестовой А.С. Повышаем урожайность проса, совершенствуя приемы агротехники // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2007. № 16-1. С. 41–44.
- Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В., Вилунов С.Д. Потенциал проса в новых рыночных условиях // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1 (45). С. 5–11. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-5-11
- Лозина Н.А., Зотиков В.И. Изменчивость элементов продуктивности проса в результате применения микроудобрений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4 (40). С. 46–52. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-46-52
- Максютов Н.А., Жданов В.М. Влияние погодных условий, предшественников и фона питания на урожайность проса в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 42–45.
- Петров Н.Ю., Захарова Е.А., Федоренко И.С. Эффективность применения биопрепаратов при выращивании проса в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53).
- Филин В.И., Балакшина В.И. Эффективность удобрений в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 72.
- Хамокова И.М. Просо: состояние изученности некоторых элементов технологии (обзор) // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 3 (43). С. 57–65. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-57-6.
- <https://www.fao.org/millet-2023/ru> (Дата обращения 24.11.2023)

REFERENCES

- Antimonova O.N., Syrkina L.F. Formirovanie urozhajnosti sortov prosa posevnogo v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovij // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2020. № 10 (163). S. 74–82.
- Vakulenko V.V. Regulyatory rosta rastenij povyshayut stressoustojchivost' kul'tur // Zashchita i karantin rastenij. 2015. № 2. S. 13–15.
- Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
- Zavodchikova L.D., Varavva V.N., Berestovoj A.S. Povyshaem urozhajnost' prosa, sovershenstvuya priemy agrotekhniki // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. № 16-1. S. 41–44.
- Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V., Vilyunov S.D. Potencial prosa v novyh rynochnyh usloviyah // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2023. № 1 (45). S. 5–11. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-5-11
- Lozina N.A., Zotikov V.I. Izmenchivost' elementov produktivnosti prosa v rezul'tate primeneniya mikroudobrenij // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 4 (40). S. 46–52. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-46-52
- Maksyutov N.A., Zhdanov V.M. Vliyanie pogodnykh uslovij, pedshestvennikov i fona pitaniya na urozhajnost' prosa v stepnoj zone Yuzhnogo Urala // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 4 (60). S. 42–45.
- Petrov N.Yu., Zaharova E.A., Fedorenko I.S. Effektivnost' primeneniya biopreparatov pri vyrashchivanii prosa v Volgogradskoj oblasti // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 1 (53).
- Filin V.I., Balakshina V.I. Effektivnost' udobrenij v suhostepnoj zone kashtanovykh pochv Volgogradskoj oblasti // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 1 (53). S. 72.
- Hamokova I.M. Proso: sostoyanie izuchennosti nekotorykh elementov tekhnologii (obzor) // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2022. № 3 (43). S. 57–65. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-57-6.
- <https://www.fao.org/millet-2023/ru> (Data obrashcheniya 24.11.2023)

Поступила в редакцию 29.12.2023
Принята к публикации 12.01.2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СОЗДАНИИ СОРТОВ СОИ

Валентина Тимофеевна Синеговская, академик РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ

Евгения Михайловна Фокина, кандидат сельскохозяйственных наук

Оксана Сергеевна Душко

ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Амурская область, Россия

E-mail: valsln09@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты изучения работы фотосистемы II в листьях девяти сортов сои селекции ВНИИ сои, чтобы выявить генотипы с повышенной фотосинтетической активностью для включения в селекционный процесс при создании высокопродуктивных сортов нового поколения. Сравнительная оценка сортов дана по показателям эффективного квантового выхода фотосинтеза – $Y(II)$ и флуоресценции хлорофилла (F_p), относительной скорости транспорта электронов (ETR) и фотохимического преобразования энергии в зависимости от насыщения светом. Сорта сои Грация, Соната и Китросса по изучаемым параметрам имели самые высокие показатели, значительно превышающие стандартный сорт Лидия. Эффективный квантовый выход фотосинтеза, показывающий степень поглощения солнечной энергии, у сортов Грация и Соната в течение всего вегетационного периода был на уровне 0,80–0,83 отн. ед., с превышением показателя сорта Лидия на 0,09–0,13 отн. ед. в зависимости от фазы роста и развития растений. Квантовый выход флуоресценции (F_p) в листьях сорта Лидия в фазе цветения превышал сорта Грация, Соната и Китросса на 60, 56 и 63% соответственно, что указывает на пониженную активность работы фотосистемы II у этого сорта. Эффективность фотохимического преобразования энергии фотосинтеза в фазе цветения была наиболее стабильной в листьях сорта Соната при уровне освещенности от 600 до 1500 мкмоль квантов/(м²·с). Используя сорт сои Грация в качестве материнской формы (♀) при скрещивании с гибридом Ам.2146, который был получен с включением сорта Соната, также обладающего высокой степенью поглощения квантов света, был создан сорт Лучистая. Он проходил сортоиспытание в 2021–2022 годах, в 2023 включен в Государственный реестр селекционных достижений для возделывания в Дальневосточном (12) регионе.

Ключевые слова: соя, сорт, фотосинтез, показатели флуориметрии, селекционный процесс

THE USAGE OF PHYSIOLOGICAL METHODS IN THE CREATION OF SOYBEAN VARIETIES

V.T. Sinegovskaya, Academician of the RAS, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation

E.M. Fokina, PhD in Agricultural Sciences

O.S. Dushko

Federal Scientific Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Amur region, Russia

E-mail: valsln09@gmail.com

Abstract. The results of a study of the operation of photosystem II in the leaves of nine soybean varieties bred by the All-Russian Research Institute of Soybean are presented in order to identify genotypes with increased photosynthetic activity for inclusion in the breeding process when creating highly productive varieties of a new generation. A comparative assessment of varieties is given in terms of effective quantum yield of photosynthesis (Y) and chlorophyll fluorescence (F_p), relative electron transport rate (ETR) and photochemical energy conversion depending on light saturation. The soybean varieties Gracia, Sonata and Kitrossa had the highest indicators for the studied parameters, significantly exceeding the standard variety Lydia. The effective quantum yield of photosynthesis, which shows the degree of absorption of solar energy, in the Gracia and Sonata varieties during the entire growing season was at the level of 0.80–0.83 rel. units, with this indicator exceeding for the Lydia variety by 0.09–0.13 rel. units depending on the phase of plant growth and development. The quantum yield of fluorescence (F_p) in the leaves of the Lydia variety during the flowering phase exceeded the Gracia, Sonata and Kitrossa varieties by 60, 56 and 63%, respectively, which indicates a reduced activity of photosystem II in this variety. The efficiency of photochemical conversion of photosynthetic energy during the flowering phase was most stable in the leaves of the Sonata variety at light levels from 600 to 1500 $\mu\text{mol quanta}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$. Using the soybean variety Gracia as the maternal form (♀) when crossed with the hybrid Am.2146, which was obtained with the inclusion of the Sonata variety in the hybridization, which also has a high degree of absorption of light quanta, the Radiant variety was created. Variety passed testing in 2021–2022, and in 2023 included in the State Register of Breeding Achievements for cultivation in the Far Eastern (12) region.

Keywords: soy, variety, photosynthesis, fluorimetry indicators, breeding process

Взаимосвязь между интенсивностью фотосинтетической деятельности растений и урожайностью установлена и экспериментально доказана выдающимся русским физиологом К.А. Тимирязевым. [9] Зеленые растения, используя углекислый газ воздуха

с помощью света, создают органическое вещество, состоящее на 45% из углерода. Главный компонент в фотосинтетическом комплексе – хлорофилл (зеленый пигмент растений, который играет ведущую роль в процессе фотосинтеза и служит важным

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

фактором метаболизма растительного организма в целом). Исследования современных ученых свидетельствуют, что размер и продолжительность работы ассимиляционного аппарата важны в формировании урожая, при этом существенное значение имеет активность фотосинтетических процессов. [1, 3, 4] Чтобы получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур, необходимо управлять светом так же, как водным режимом и минеральным питанием. Увеличение интенсивности освещения сказывается на процессе фотосинтеза по-разному и зависит от типа растения и других факторов. [7, 19, 20] Соя – светлюбивая культура, требует правильного подбора исходного материала в селекционной работе с ней. [2, 10] Изучение процессов усвоения квантов света листьями сои во взаимосвязи с его преобразованием в энергию органического вещества позволяет выявлять растения с высоким уровнем поглощения и использования фотосинтетически активной радиации для включения таких генотипов в селекционный процесс. Это делает возможным создавать сорта с высоким уровнем семенной продуктивности с помощью физиологических приемов и классических методов селекции. Исследованиями, проведенными нами ранее, установлено, что в период образования бобов и налива семян 70% азота трансформируется из листьев, 20 – из стеблей и только 10% поступает в семена из корневой системы и клубеньков. [8] Следовательно, накопление в семенах белка и органического вещества зависит от работы листового аппарата сои, в хлоропластах которого образуются продукты фотосинтеза. Стоящая перед селекцией задача постоянного увеличения потенциальной урожайности вновь создаваемых сортов может решиться мультидисциплинарным подходом, включающим знания генетики, биохимии, физиологии и селекции растений. [5, 17, 18] Достижения в изучении механизмов первичных процессов фотосинтеза выявили связь показателей флуоресценции хлорофилла с характеристиками состояния фотосинтетического аппарата фотосинтезирующих организмов. Энергия кванта света, поглощенного светособирающим комплексом (ССК), может быть превращена в энергию разделенных зарядов, которая используется в дальнейших реакциях фотосинтеза, либо теряется при излучении кванта флуоресценции или рассеивании в тепло. [13, 14] Один из наиболее распространенных методов изучения активности фотосинтетических процессов – РАМ-флуориметрия, основанная на импульсной амплитудной модуляции, что позволяет измерять величину поглощенной световой энергии растением, которая используется на накопление органического вещества, поступающего в репродуктивные органы. [15, 16] Во ВНИИ сои ведутся исследования по выявлению сортов и сортообразцов сои с высоким уровнем усвоения квантов света фотосистемой II для включения их в селекционный процесс в качестве источников повышенной фотосинтетической активности.

Цель работы – изучение действия фотосистемы II в листьях сортов сои для выявления источников повышенной фотосинтетической активности при создании высокопродуктивных сортов нового поколения.

Исследования проводили в 2010–2020 годах в коллекционном питомнике лаборатории селекции сои ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в с. Садовое Тамбовского района Амурской области. В листьях растений сои сортов селекции института (*Лидия*, *Грация*, *Соната*, *Татьяна Рязанцева*, *Кружевница*, *Евгения*, *Персона*, *Октябрь 70*, *Китросса*) определяли параметры флуоресценции хлорофилла с помощью анализатора эффективности фотосинтеза с импульсно-моделированным освещением MINI-RAM (Heinz Walz GmbH, Германия). Эффективный квантовый выход фотосинтеза (Y) характеризует количество усвоенных фотонов, пошедших на фотохимические процессы от общего количества поступивших в систему (F_v/F_m), и активность начальных стадий фотосинтеза, где F_v – переменная флуоресценция, F_m – максимальная в условиях активирующего освещения. Квантовый выход флуоресценции (F_0) показывает количество фотонов, излученных в виде флуоресценции. При сравнительной оценке показателей эффективного квантового выхода фотосинтеза (Y) в листьях сортов сои принимали оптимальную величину (0,83 отн. ед.), установленную исследователями, изучавшими эти параметры. [11] В листьях вычисляли относительную скорость транспорта электронов (ETR), которая отражает отношение поглощенных фотосинтетическими пигментами фотонов к падающим. Исследования выполняли в основные фазы роста и развития: третий тройчатый лист, цветение, образование бобов и налив семян, наступление которых определяли по методике. [12] Параметры флуориметрии измеряли в листьях сои по ярусам (нижний, средний, верхний) в четырех биологических и трех аналитических повторностях с приведением к среднему показателю по растению. Данные статистически обрабатывали в программе Microsoft Excel 2000 с помощью стандартного пакета анализа данных. Параметры флуоресценции рассчитывали в программе Win Control-3. Сорта различались продолжительностью вегетационного периода, потенциальной урожайностью и содержанием белка и жира в семенах (табл. 1).

Сорта с высокими показателями флуориметрии рекомендовали задействовать в селекцион-

Таблица 1.
Характеристика сортов сои селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои

Сорт	Вегетационный период, дни	Потенциальная урожайность, т/га	Содержание в семенах, %	
			белок	жир
<i>Лидия</i> (st)	96...104	3,10	41,0	22,0
<i>Грация</i>	90...97	3,30	40,0	22,0
<i>Соната</i>	94...100	2,75	40,9	20,7
<i>Кружевница</i>	99...106	2,93	42,0	18,0
<i>Евгения</i>	107...121	3,27	39,7	18,4
<i>Персона</i>	103...109	3,18	41,0	19,0
<i>Октябрь 70</i>	106...110	2,80	40,2	21,6
<i>Китросса</i>	113...114	4,00	42,0	19,0
<i>Татьяна Рязанцева</i>	109...115	3,31	38,9	18,4

Таблица 2.

Показатели работы фотосистемы II в листьях сортов сои, средние за 2010–2020 годы

Сорт	Эффективный квантовый выход, Υ (II), отн. ед.			
	фаза роста и развития растений			
	третий тройчатый лист	цветение	образование бобов	налив семян
<i>Лидия (st)</i>	0,74	0,65	0,70	0,75
<i>Грация</i>	0,83	0,83	0,82	0,82
<i>Соната</i>	0,83	0,83	0,83	0,80
<i>Кружевница</i>	0,78	0,76	0,74	0,61
<i>Евгения</i>	0,79	0,75	0,79	0,70
<i>Персона</i>	0,76	0,79	0,77	0,79
<i>Октябрь 70</i>	0,79	0,73	0,67	0,70
<i>Китросса</i>	0,82	0,81	0,80	0,80
<i>Татьяна</i>				
<i>Рязанцева</i>	0,80	0,71	0,79	0,76
<i>Среднее</i>	0,80	0,76	0,77	0,75

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнительной оценке параметров фотосинтеза в качестве стандарта использовали сорт *Лидия*, применяемый на Госсортоучастках Дальнего Востока при проведении сортовой оценки сои для включения в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Исследования показали существенные различия в поглощении листьями квантов света как между сортами, так и в зависимости от фазы роста и развития растений (табл. 2).

По всем сортам эффективный квантовый выход (Υ) самый высокий был в фазе третьего тройчатого листа, когда растения хорошо освещены и листья не затеяют друг друга. Этот показатель снижился к фазе налива семян. Высоким уровнем поглощения квантов света и стабильностью в течение всего вегетационного периода отличались *Грация*, *Соната* и *Китросса*, скороспелый *Лидия* уступал практически всем сортам.

Флуоресцентная часть света, определяемая по показателю F_0 – квантового выхода флуоресценции, у *Лидии* в фазе цветения превышала этот показатель у сортов *Грация*, *Соната* и *Китросса* на 60, 56 и 63% соответственно, что указывает на пониженную активность листового аппарата растений сои сорта *Лидия* (рис. 1).

В фазе налива семян, когда происходит активный отток из листьев в семена продуктов фотосинтеза, квантовый выход флуоресценции в листьях сортов *Грация*, *Соната* и *Китросса* был на одном уровне с этим показателем в фазе цветения и меньше на 100 отн. ед., по сравнению с сортом *Лидия*. Преимущество работы фотосистемы II в листьях сорта *Соната*, по сравнению со стандартным, было подтверждено с помощью реакции растений на интенсивность светового излучения, которую определяли в фазы третьего тройчатого листа и цветения (рис. 2).

Квантовую эффективность фотохимического преобразования энергии при последовательном уве-

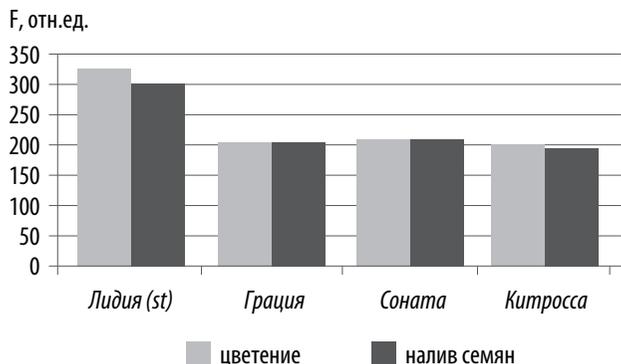


Рис. 1. Квантовый выход флуоресценции (F_0), отн. ед.

ном процессе как родительские формы. Гибридизацию осуществляли по методике, предусматривающей принудительное переопыление. [6] В дальнейшем отбор в популяциях проводили по методу Педигри.

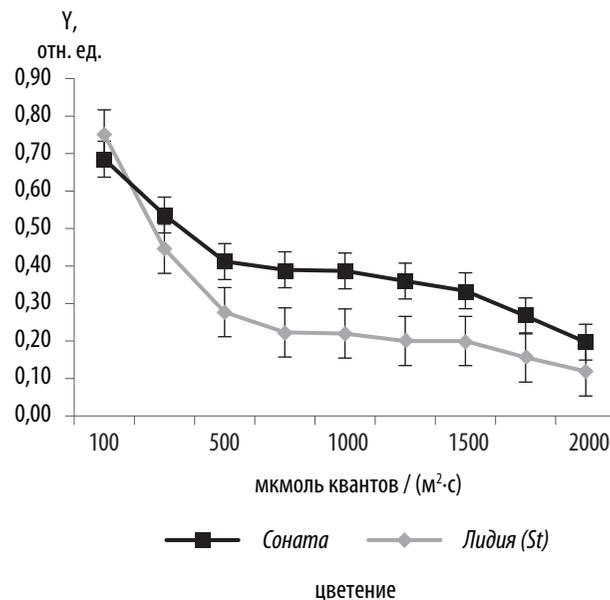
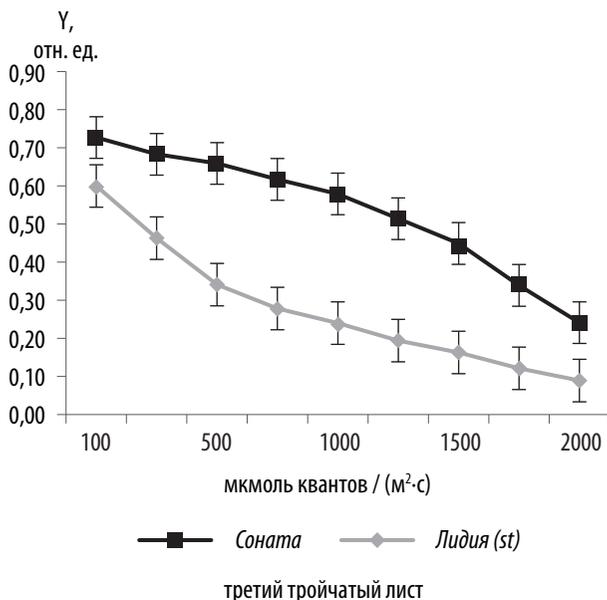


Рис. 2. Квантовая эффективность фотохимического преобразования энергии при последовательном увеличении интенсивности света, средняя за 2010–2020 годы.

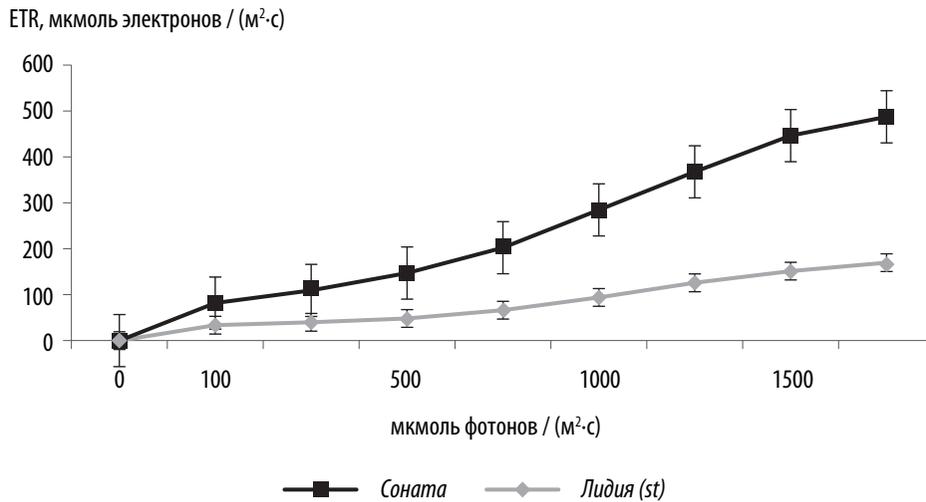


Рис. 3. Скорость электронного транспорта при последовательном увеличении интенсивности света в фазе цветения, 2010–2020 годы.

личении интенсивности актиничного света определяли в листьях, изолируя растения от солнечного света с помощью коробок. Автоматически задавали девять периодов освещения, общая продолжительность которых – 3 мин. Наиболее адаптированный к увеличению инсоляции света – сорт *Соната*, наименее – *Лидия*. В фазе цветения эффективность фотохимического преобразования энергии фотосинтеза при увеличении степени освещения изменилась. Стабильнее она была при уровне освещенности от 600 до 1500 мкмоль квантов / (м²·с), что свидетельствует о большей адаптивной способности фотосинтетической системы к поглощению света на этой фазе развития. Максимальные значения отмечены у сорта *Соната*, минимальные у *Лидии*.

На рисунке 3 приведены световые кривые, характеризующие зависимость плотности переноса электронов по электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) от интенсивности фотосинтетически активной радиации в листьях сортов *Лидия* (st) и *Соната* в фазе цветения.

Момент выхода кривой на графике свидетельствует о «насыщении» фотосинтеза. В листьях обоих сортов этот показатель повышался по мере увеличения интенсивности света. При 100...500 мкмоль фотонов / (м²·с) медленно увеличивалась активность квантового выхода, затем резко возрастала, что говорит о высокой степени поглощения квантов света. В листьях сорта *Соната* при повышении ин-

тенсивности света плотность переноса электронов была в два раза выше, чем у стандартного, поэтому «насыщение» фотосинтеза проходило значительно активнее. В результате изучения показателей работы фотосистемы II в листьях растений сои выявили три сорта с высокой степенью усвоения квантов света, которые были рекомендованы в качестве источников повышенной фотосинтетической активности, особенно в период формирования репродуктивных органов. Для создания нового скороспелого сорта селекционеры взяли *Гранию* в качестве материнской формы (♀) при скрещивании с гибридом Ам. 2146, который получили с использованием сорта *Соната*, также обладающего высокой степенью поглощения квантов света. В результате был создан сорт *Лучистая*, прошедший сортоиспытание в 2021–2022 годах, а в 2023 включенный в Государственный реестр селекционных достижений для возделывания в Дальневосточном регионе. Сорт *Лучистая* (Ам. 2442) с периодом вегетации 105...107 дн. относится к маньчжурскому (*manshurica*) подвиду, апробационной группе – *flavida* Enk, предназначен для зоны с суммой активных температур 1800...2000°С (табл. 3).

За годы изучения в конкурсном сортоиспытании урожайность семян сорта сои *Лучистая* составила 2,67...2,85 т/га, превысила стандартный в среднем на 0,36 т/га, потенциальная урожайность – 3,12 т/га. Сорт полудетерминантного типа

Таблица 3.

Характеристика хозяйственно ценных признаков сортов сои *Лучистая* и *Лидия* по годам

Показатель	<i>Лучистая</i>				<i>Лидия</i> (st)			
	2017	2018	2019	среднее за 2017–2019	2017	2018	2019	среднее за 2017–2019
Урожайность семян, т/га	2,67	2,72	2,85	2,75	2,47	2,25	2,46	2,39
Период вегетации, дни	105	106	107	106	102	106	104	104
Высота растений, см	79	72	85	79	73	65	74	71
Высота прикрепления нижних бобов, см	13	13	15	14	12	13	17	14
Масса 1000 семян, г	145,8	148,8	124,9	139,8	161,4	167,7	161,6	163,5
Содержание в семенах белка, %	39,8	39,7	40,0	39,8	38,5	39,2	42,2	39,9
Содержание в семенах жира, %	20,9	21,3	20,2	20,8	20,4	19,7	20,1	20,1

развития с хорошо выполненной верхушкой, форма куста прямостоячая, обладает повышенным уровнем фотосинтетической активности с показателем квантового выхода фотосинтеза на уровне 0,83...0,86 отн. ед. Стебель прямой, формирует две-четыре ветви, что также повышает вклад листовой поверхности в формирование и отток продуктов фотосинтеза в семена (рис. 4, 3-я стр. обл.).

Совместная работа физиологов и селекционеров принесла хорошие результаты при включении в селекционный процесс генотипов, обладающих высоким уровнем поглощения квантов света.

Выводы. Использование современных физиологических методов позволило определить величину поглощенной световой энергии листовой поверхностью растений сои, которая предназначена для накопления органического вещества, поступающего в репродуктивные органы. Оценив девять сортов селекции ВНИИ сои по данным признакам, выявили *Грацию*, *Сонату*, *Китросса* с максимальным уровнем (0,83...0,86 отн. ед.) квантового выхода фотосинтеза и высокой эффективностью фотохимического преобразования энергии при последовательном увеличении интенсивности света. Включение сортов *Грация* и *Соната* в селекционный процесс как источников повышенной фотосинтетической активности обеспечило создание нового высокопродуктивного скороспелого сорта *Лучистая*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Головина Е.В. Эколого-генетическая изменчивость содержания пигментов в листьях сортов сои северного экотипа // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 3 (31). С. 74–79.
2. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Бубнова Л.А. и др. Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета // *Масличные Культуры*. 2020. Вып. 1 (181). С. 140–146.
3. Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К. и др. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений на уровне вида и сообщества // *Физиология растений*. 2020. Т. 67. № 3. С. 278–288.
4. Кабашникова Л.Ф. Хлорофилл – зеленое вещество жизни // *Наука и инновации*. 2018. № 1 (179). С. 65–69.
5. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М., 2010. 638 с.
6. Малыш К.К., Рязанцева Т.П. Некоторые вопросы биологии сои, связанные с методикой гибридизации // *Труды Амурской сельскохозяйственной опытной станции*. Хабаровск. 1968. Т. 2. Вып. 1. С. 38–48.
7. Ничипорович А.А. Световое и углеродное питание растений (фотосинтез). М., 1955. 286 с.
8. Русаков В.В., Посыпанов Г.С., Синеговская В.Т. Источники азота для формирования семян сои при различных условиях выращивания // *Приемы регулирования продуктивности сои*. Новосибирск, 1987. С. 108–126.
9. Тимирязев К.А. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1948. Т. 2. 424 с.
10. Фокина Е.М., Титов С.А., Губенко О.А. Наследование хозяйственно ценных признаков и гетерозис у гибридов сои F₁ // *Дальневосточный аграрный вестник: научно-практический журнал*. 2020. Вып. 3 (55). С. 76–81.

11. Bjorkman O., Deming B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins // *Planta*. 1987. 170 (4). P. 489–504.
12. Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J.S. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max.* (L) Merr. // *Crop Sci.* 1971. № 11. P. 929–930.
13. Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics // *Annu Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 1991. V. 42. P. 313–349.
14. Krause G.H., Jahns P. Non-photochemical energy-dissipation determined by chlorophyll fluorescence quenching: characterization and function // Papageorgiou G.C, Govindjee (eds.) *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*. Springer, The Netherlands. 2004. V. 19. P. 463–495.
15. Mahlein A.K., Kuska M.T., Behmann J. New trends of digital technologies opportunities for sugar beet cultivation // *Int. sugar j.* 2019. № 121 (1442). P. 134–137.
16. Matsuda Ryo, Ohashi-Kaneko Keiko, Fujiwara Kazuhiro, Kurata Kenji. Analysis of the relationship between blue-light photon flux density and the photosynthetic properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves with regard to the acclimation of photosynthesis to growth irradiance // *Soil Sci. and Plant Nutr.* 2007. № 53 (4). P. 459–465.
17. Rahimzadeh-Bajgiran P., Munehiro M., Omasa K. Relationships between the photochemical reflectance index (pri) and chlorophyll fluorescence parameters and plant pigment indices at different leaf growth stages // *Photosynthesis Research*. 2012. № 113. P. 261–271. DOI: 10.1007/s11120-012-9747-4.
18. Shcherban A.B. HD-Zip Genes and Their Role in Plant Adaptation to Environmental Factors. *Russian journal of genetics*. 2019. № 55 (1). P. 1–9. DOI: 10.1134/S1022795419010125.
19. Zhang Y., Yang Q., Li T., Kaiser E. Short-term salt stress strongly affects dynamic photosynthesis, but not steady-state photosynthesis, in tomato (*solanum lycopersicum*) // *Environmental and Experimental Botany*. 2018. № 149. P. 109–119. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.02.014.
20. Zheng J.F., He D.X., Ji F. Effects of light intensity and photoperiod on runner plant propagation of hydroponic strawberry transplants under LED lighting // *International journal of agricultural and biological engineering*. 2019. 12 (6). P. 26–31. DOI: 10.25165/j.ijabe.20191206.5265.

REFERENCES

1. Golovina E.V. Ekologo-geneticheskaya izmenchivost' soderzhaniya pigmentov v list'yakh sortov soi severnogo ekotipa // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2019. № 3 (31). S. 74–79.
2. Zelentsov S.V., Moshnenko E.V., Bubnova L.A. i dr. Srednerannii tenevynosliviyy sort soi Vilana beta // *Maslichnye Kul'tury*. 2020. Vyp. 1 (181). S. 140–146.
3. Ivanov L.A., Ronzhina D.A., Yudina P.K. i dr. Sezonnaya dinamika soderzhaniya khlorofillov i karotinoidov v list'yakh stepnykh i lesnykh rastenii na urovne vida i soobshchestva // *Fiziologiya rastenii*. 2020. T. 67 № 3. S. 278–288.
4. Kabashnikova L.F. Khlorofill – zelenoe veshchestvo zhizni // *Nauka i innovatsii*. 2018. № 1 (179). S. 65–69.
5. Koshkin E.I. Fiziologiya ustoychivosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. M. 2010. 638 s.
6. Malyshev K.K., Ryazantseva T.P. Nekotorye voprosy biologii soi, svyazannye s metodikoi gibrizatsii // *Trudy Amurskoi sel'skokhozyaystvennoi opytnoi stantsii*. Khabarovsk. 1968. T. 2. Vyp. 1. S. 38–48.

7. Nichiporovich A.A. Svetovoe i uglerodnoe pitanie rastenii (fotosin-tez). M., 1955. 286 s.
8. Rusakov V.V., Posypanov G.S., Sinegovskaya V.T. Istochniki azota dlya formirovaniya semyan soi pri razlichnykh usloviyakh vyrashchivaniya // Priemy regulirovaniya produktivnosti soi. Novosibirsk, 1987. S. 108–126.
9. Timiryazev K.A. Izbrannye sochineniya. M.: Sel'khozgiz, 1948. T. 2. 424 s.
10. Fokina E.M., Titov S.A., Gubenko O.A. Nasledovanie khozyaistvenno tsennykh priznakov i geteroziz u gibridov soi F1 // Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik: nauchno-prakticheskii zhurnal. 2020. Vyp. 3 (55). S. 76–81.
11. Bjorkman O., Deming B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins // Planta. 1987. 170 (4). P. 489–504.
12. Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J.S. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max.* (L) Merr. // Crop Sci. 1971. № 11. P. 929–930.
13. Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics // Annu Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol. 1991. V. 42. P. 313–349.
14. Krause G.H., Jahns P. Non-photochemical energy-dissipation determined by chlorophyll fluorescence quenching: characterization and function // Papageorgiou G.C, Govindjee (eds.) Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Springer, The Netherlands. 2004. V. 19. P. 463–495.
15. Mahlein A.K., Kuska M.T., Behmann J. New trends of digital technologies opportunities for sugar beet cultivation // Int. sugar j. 2019. № 121 (1442). P. 134–137.
16. Matsuda Ryo, Ohashi-Kaneko Keiko, Fujiwara Kazuhiro, Kurata Kenji. Analysis of the relationship between blue-light photon flux density and the photosynthetic properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves with regard to the acclimation of photosynthesis to growth irradiance // Soil Sci. and Plant Nutr. 2007. № 4 (53). P. 459–465.
17. Rahimzadeh-Bajgiran P., Munehiro M., Omasa K. Relationships between the photochemical reflectance index (pri) and chlorophyll fluorescence parameters and plant pigment indices at different leaf growth stages. *Photosynthesis Research*. 2012. 113. P. 261–271. DOI: 10.1007/s11120-012-9747-4.
18. Shcherban A.B. HD-Zip Genes and Their Role in Plant Adaptation to Environmental Factors. *Russian journal of genetics*. 2019. 55 (1). P. 1–9. DOI: 10.1134/S1022795419010125.
19. Zhang Y., Yang Q., Li T., Kaiser E. Short-term salt stress strongly affects dynamic photosynthesis, but not steady-state photosynthesis, in tomato (*solanum lycopersicum*) // *Environmental and Experimental Botany*. 2018. № 149. P. 109–119. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.02.014.
20. Zheng J.F., He D.X., Ji F. Effects of light intensity and photoperiod on runner plant propagation of hydroponic strawberry transplants under LED lighting // *International journal of agricultural and biological engineering*. 2019. 12 (6). P. 26–31. DOI: 10.25165/j.ijabe.20191206.5265.

Поступила в редакцию 28.02.2024

Принята к публикации 13.03.2024

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ КУКУРУЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ, ФОНА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И СРОКОВ ПОСЕВА В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ

Анастасия Алексеевна Лукашина, научный сотрудник, аспирант, ORCID: 0000-0002-4104-9498
ФГБУН Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
с. Восточное, Хабаровский край, Россия
E-mail: belokop.2011@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты трехфакторного опыта по структуре урожая кукурузы в Хабаровском крае в зависимости от генетических особенностей сортов и гибридов, фона минерального питания и сроков сева. Опыт повторили четыре раза на посевах кукурузы местной селекции (сорта Бирсу, Алитет 2, Гуран 2) и гибридах иностранной (Молдавский 215 СВ, Р 7515, Р 8521, Р 7460). Использовали три фона минерального питания: № 1 (контроль) – $N_{90}P_{90}K_{90}$, № 2 – $N_{110}P_{110}K_{90}$, № 3 – $N_{110}P_{110}K_{90}$. Сеяли в два срока с пятидневным интервалом. Исследования проводили в 2021–2022 годах на опытном поле Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства. Почва – лугово-бурая тяжелосуглинистая. Наибольшая урожайность зерна (125,3 ц/га) была отмечена на фонах минерального питания № 2 ($N_{110}P_{110}K_{90}$) и № 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$). Показатели структуры урожая зависели больше от сорта растений (46,0–73,4%), чем от удобрений (6,2–17,8%), сроки сева имели достаточное влияние (0,18–2,59%). Однако на массу 1000 зерен большее действие оказало дополнительное внесение азота и фосфора (40,67%), а не сортовые особенности (32,71%). Рекомендованы сорта местной селекции Алитет 2 и Гуран 2 для возделывания в Хабаровском крае, так как они дают хороший урожай зерна, отзывчивы на дополнительное внесение азота и фосфора, соответствуют условиям региона по скороспелости, подходят для заготовки силоса, зеленого корма и зернофуража.

Ключевые слова: Хабаровский край, кукуруза, генетические особенности, структура урожая, удобрения, сроки сева

CHANGES IN THE CORN YIELD STRUCTURE DEPENDING ON GENETIC CHARACTERISTICS, BACKGROUND MINERAL NUTRITION AND SOWING TIME IN THE KHABAROVSK KRAI

A.A. Lukashina, Researcher, PhD Student
Federal State Budgetary Institution of Science Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Agricultural Research Institute,
Vostochnoye village, Khabarovsk Territory, Russia
E-mail: belokop.2011@mail.ru

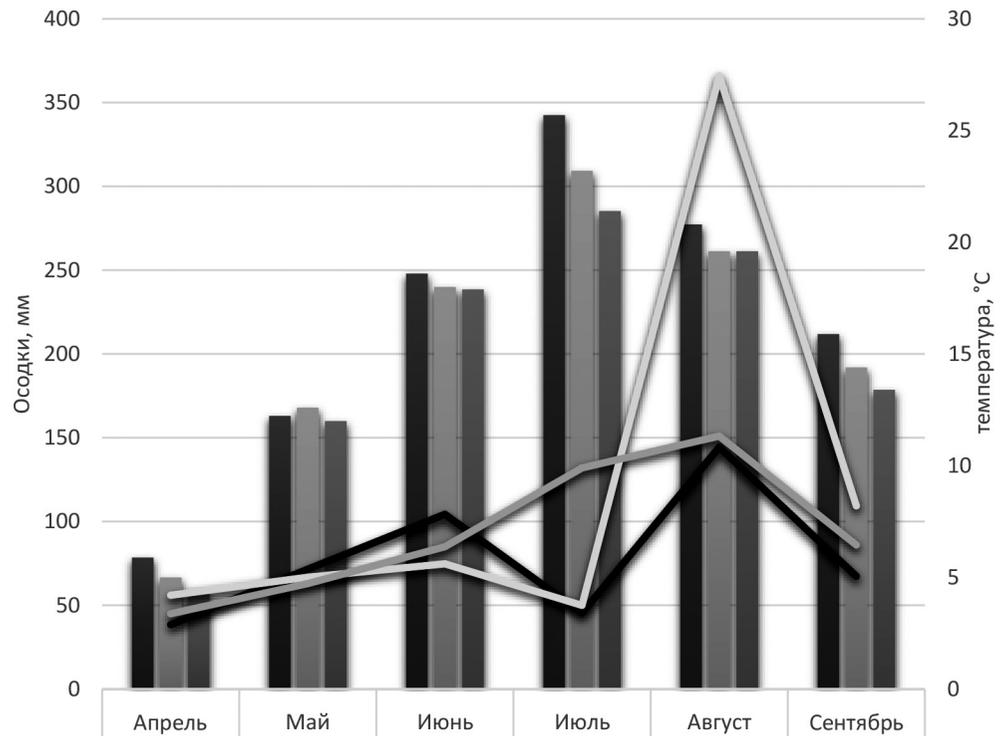
Abstract. This study presents the results of a three-factor experiment on corn yield structure depending on the genetic characteristics and hybrids, mineral nutrition background and sowing dates. The experiment was carried out in Khabarovsk Krai in fourfold repetition on corn crops of local selection varieties Birsu, Alitet 2 and Guran 2 and hybrids of foreign selection Moldavsky 215 SV, P 7515, P 8521, P 7460; on three mineral nutrition backgrounds: № 1 (control) – $N_{90}P_{90}K_{90}$, № 2 – $N_{110}P_{110}K_{90}$, № 3 – $N_{130}P_{130}K_{90}$; in 2 sowing dates with 5 days apart. The studies were carried out in 2021–2022 on the experimental field of the Far Eastern Agricultural Research Institute, the soil of the experimental section was meadow-brown, heavy loamy. The highest grain yield up to 125.3 c/ha was noted on the mineral nutrition background № 2 ($N_{110}P_{110}K_{90}$) and № 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$). Yield structure indicators depended more on varietal features of plants (46.0–73.4%) rather than on mineral nutrition background (6.2–17.8%) and sowing dates had sufficient influence (0.18–2.59%). However, the weight of 1000 grains was more influenced by additional application of nitrogen and phosphorus (40.67%) rather than varietal features (32.71%). In this study varieties of local breeding Alitet 2 and Guran 2 are recommended for cultivation in Khabarovsk Krai as they give a good grain yield, responsive to the additional application of nitrogen and phosphorus, correspond to the region conditions in terms of precocity, suitable both for harvesting silage and green fodder and for harvesting grain forage.

Keywords: Khabarovsk Krai, corn, genetic characteristics, crop structure, fertilizers, sowing dates

Кукурузу широко используют в сельском хозяйстве как кормовую и продовольственную культуру. [8] В среднем в 1 кг ее зерна – 1,34 корм. ед. и 78 г переваримого протеина. В сухом веществе содержатся безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – 65...70%, белок – 8...12, сахар – 2, крахмал – 65...75, пентозаны – 5, клетчатка – 2,5%, витамины. Зерно хорошо усваивается животными, поэтому его включают в комбикорма, также на корм идут стебли, листья и початки. В зеленой массе

находится 12% сахара, много каротина и витамина С, что необходимо для качественной консервации корма. В мировом объеме на продовольственные нужды идет более 20% зерна, технические – 20, на корм скоту – около 60%. Кукурузу возделывают в большинстве регионов Российской Федерации. [1, 2, 4, 6, 8, 10]

Минеральные удобрения способны повысить урожай и качество получаемой продукции при рациональном использовании. Их внесение ре-



■ Температура 2021	5,9	12,23	18,6	25,7	20,8	15,9
■ Температура 2022	5	12,6	18	23,2	19,6	14,4
■ Температура среднее многолетнее	4,4	12	17,9	21,4	19,6	13,4
■ Осадки 2021	38,5	71,6	104,3	45,4	144,4	67,4
■ Осадки 2022	56	66,8	74,8	50	366	109,4
■ Осадки среднее многолетнее	45	63	85	132	151	86

Рис. 1. Погодные условия 2021–2022 года.

гламентируется потребностями растений в тепле, свете, влаге в зависимости от обеспеченности почв элементами питания. Оптимизация условий получения растениями микро- и макроэлементов приводит к росту продуктивности кукурузы и положительно влияет на обеспечение животноводческой отрасли сельского хозяйства качественными кормами. Для высокого и качественного урожая сорта и гибриды кукурузы должны быть адаптированы к условиям среды региона или быть местной селекцией. Также важны фон минерального питания, срок сева, густота стояния и погодные условия. [7, 9]

Цель работы – оценить изменение структуры урожая кукурузы в зависимости от генетических особенностей, фона минерального питания и сроков посева в Хабаровском крае.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения – сорта кукурузы местной селекции *Бирсу*, *Алитет 2*, *Гуран 2* и гибриды зарубежной – *P 7515*, *P 7460*, *P 8521*, *Молдавский 215 СВ*. Опыт провели в 2021 и 2022 годах на поле Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства, предшественник – соя. Почва участка – лугово-бурая тяжелосуглинистая, $pH_{сол}$ пахотного слоя перед закладкой опыта – 4,7, содер-

жание гумуса (по Тюрину) – 4,7%, P_2O_5 (по Кирсанову) – 4,2 мг/100 г почвы, K_2O_5 (по Масловой) – 25 мг/100 г почвы. Кукурузу высевали на глубину 4...5 см, фоновая доза минеральных удобрений – $N_{90}P_{90}K_{90}$ т/га действующего вещества. Агротехнические мероприятия проводили по рекомендациям общепризнанной технологии в Приамурье, возделывали гребне-рядовым методом. [3, 5] В 2021 году внесли почвенный гербицид Ацетал ПРО (1,8 л/га), 2022 – Дублон Голд (45 г/га) + прилипатель Адьо (0,2 л/га) в фазе трех–пяти листьев.

Погодные условия 2021 и 2022 годов отличались от среднеемноголетней нормы, но удовлетворяли потребности растений в тепле и влаге (рис. 1). Весной почва была прогрета хорошо благодаря теплой и сухой погоде. Средняя температура мая 2021 составила 12,12°C, 2022 – 12,60°C, что выше среднеемноголетней на 0,12 и 0,6°C соответственно. Летом температура превышала норму в июне 2021 года на 0,7°C, 2022 – 0,1, июле – 4,3°C и 1,8°C соответственно, августе 2021 года – 1,2°C, в 2022 году превышения не было (19,6°C). В сентябре 2021 года температура была выше нормы на 1,5°C, 2022 – 1,0°C. В 2021 году была в основном сухая погода с недостатком влаги в июле (33% нормы), августе (96), сентябре (73) и некритичным переувлажнением в мае на 13 и июне на 22% выше нормы. Переизбыток

Таблица 1.

Схема трехфакторного полевого опыта, 2021–2022 годы

Фактор А (удобрения)	Фактор В (срок сева)	Фактор С (гибриды)
Фон № 1 (контроль $N_{90}P_{90}K_{90}$)	1	<i>Бирсу</i>
		<i>Алитет 2</i>
		<i>Гуран 2</i>
		<i>P 7515</i>
		<i>P 8521</i>
		<i>P 7460</i>
	2	<i>Молдавский 215 СВ</i>
		<i>Бирсу</i>
		<i>Алитет 2</i>
		<i>Гуран 2</i>
		<i>P 7515</i>
		<i>P 8521</i>
Фон № 2 ($N_{110}P_{110}K_{90}$)	1	<i>P 7460</i>
		<i>Молдавский 215 СВ</i>
		<i>Бирсу</i>
		<i>Алитет 2</i>
		<i>Гуран 2</i>
		<i>P 7515</i>
	2	<i>P 8521</i>
		<i>P 7460</i>
		<i>Молдавский 215 СВ</i>
		<i>Бирсу</i>
		<i>Алитет 2</i>
		<i>Гуран 2</i>
Фон № 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$)	1	<i>P 7515</i>
		<i>P 8521</i>
		<i>P 7460</i>
		<i>Молдавский 215 СВ</i>
		<i>Бирсу</i>
		<i>Алитет 2</i>
	2	<i>Гуран 2</i>
		<i>P 7515</i>
		<i>P 8521</i>
		<i>P 7460</i>
		<i>Молдавский 215 СВ</i>
		<i>Бирсу</i>

влаги в мае 2022 года – 6%, августе – 142 и сентябре – 27%, недостаток – в июне (88) и июле (38%).

Таким образом, дефицит осадков в июле и повышенная температура воздуха привели к сокращению времени цветения, ухудшению условий опыления и оплодотворения, что отрицательно сказалось на завязывании семян.

Метод исследования – трехфакторный полевой опыт по схеме 3×2×7 м в четырехкратной повторности (табл. 1).

Контроль – сорт *Бирсу* первого срока на фоновом удобрении $N_{90}P_{90}K_{90}$ (№ 1). Было изучено дополнительное внесение азота и фосфора в дозе: $N_{110}P_{110}K_{90}$

(№ 2) и $N_{130}P_{130}K_{90}$ (№ 3). Разница между сроками сева пять дней (22 и 28 мая в 2021 году, 16 и 21 мая в 2022). Уборку на зерно проводили ручным способом после окончания вегетативного периода растений кукурузы в сентябре.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучено влияние сортовых особенностей, удобрений и сроков сева на структуру урожая кукурузы в Хабаровском крае (табл. 2).

Значительное влияние на структуру урожая оказали генетические особенности сортов и гибридов.

Наибольший выход зерна среди гибридов зарубежной селекции был у *P 7515* (84,1%), сортов местной селекции *Алитет 2* (80,6) и *Гуран 2* (83,1%) на фоне минерального питания № 2 ($N_{110}P_{110}K_{90}$), превысив контроль. На этот показатель самое сильное действие оказали сортовые особенности (53,56%) и фон минерального питания (17,52), срок сева – 0,22%. Взаимодействие факторов отмечали по парам: сорт-фон минерального питания (14,04%), срок сева-фон минерального питания (2,00), фон минерального питания-срок сева (4,72%). Взаимодействие всех факторов составило 7,69%.

Длина початка на 46,73% зависит от генетических особенностей (до 18,0 см у *Алитет 2*) и 17,80% от фона минерального питания, на 11,3% превышает контроль на фоне № 2 и 6% (№ 3), сроки сева не оказали значительного влияния (0,18%). Взаимодействие факторов: сорт-фон минерального питания – 14,04%, срок сева-фон минерального питания – 2,00, сорт-срок сева – 4,72%, тройное – 7,69%.

На число рядов в початке действует генетика (86,18%) и удобрения (2,80). При оценке двойного влияния наименьший эффект имел срок сева-фон минерального питания (0,5%), сорт-фон минерального питания – 3,75, фон минерального питания-срок сева – 3,99%. Тройное действие – 2,59%.

Среднее число зерен в ряду не превышало 16,2 у гибрида *P 8521* на фоне минерального питания № 2. На это повлияли сортовые особенности (73,42%), фон минерального питания – 6,23, срок сева – 2,59, срок сева-фон минерального питания – 0,23, фон минерального питания-удобрения – 5,23, срок сева-сорт – 5,04%. Тройное взаимодействие факторов было на уровне 7,26%.

Средний вес одного початка варьировал от 150,0 до 179,2 г (*Бирсу*) и от 224,0 до 285,0 г (*P 7515*). Вес одного початка зависел от генетики на 71,92%, удобрений – 7,81, срока сева – 2,54%. Практически одинаковое влияние оказало взаимодействие факторов удобрения-срок сева и удобрения-сорт – 2,87% и 2,81% соответственно, срок сева-сорт были на уровне 6,15%. Тройное взаимодействие факторов – 5,89%.

На массу 1000 зерен большее влияние (40,67%) оказал фон минерального питания, чем сортовые особенности (32,71%), срок сева значения не имел (0,01%). Двойное действие распределилось следующим образом: удобрения-срок сева – 0,38%, срок сева-сорт – 12,30, удобрения-сорт – 4,99%, тройное – 8,93%. Лучшие результаты были на фоне минерального питания № 2 у *Алитет 2* (255,0 г).

Таблица 2.

Элементы структуры урожая кукурузы, 2021–2022 годы

Фон минерального питания	Срок сева	Сорт/гибрид	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна%	Длина початка, см	Среднее число рядов в початке, шт.	Среднее число зерен в ряду, шт.	Средний вес одного початка, г	
№ 1 (контроль $N_{90}P_{90}K_{90}$)	1	<i>Бирсу</i>	220,0	66,7	16,1	11,6	28,0	150,0	
		<i>Алитет 2</i>	231,0	77,9	17,5	12,0	33,5	162,0	
		<i>Гуран 2</i>	242,5	76,2	15,8	12,8	32,3	157,0	
		<i>P 7515</i>	232,5	80,9	17,2	14,2	34,6	212,5	
		<i>P 8521</i>	212,5	81,0	15,5	14,5	36,0	202,5	
		<i>P 7460</i>	232,5	81,9	16,7	14,3	41,2	224,5	
	№ 2 ($N_{110}P_{110}K_{90}$)	2	<i>Молдавский 215 СВ</i>	192,5	76,3	12,8	12,3	27,2	152,0
			<i>Бирсу</i>	220,0	75,0	14,6	11,5	30,8	165,8
			<i>Алитет 2</i>	230,0	77,3	17,4	13,5	31,5	173,5
			<i>Гуран 2</i>	240,0	73,7	16,6	13,5	25,4	171,0
			<i>P 7515</i>	195,0	81,5	15,2	14,5	31,8	222,5
			<i>P 8521</i>	237,5	80,7	15,9	14,7	37,7	243,5
№ 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$)		1	<i>P 7460</i>	217,5	80,6	15,5	14,3	33,5	177,5
			<i>Молдавский 215 СВ</i>	197,5	80,2	13,7	11,8	28,7	138,3
			<i>Бирсу</i>	243,0	78,8	16,3	12,5	31,8	179,2
			<i>Алитет 2</i>	242,5	78,5	16,0	13,0	31,7	220,8
			<i>Гуран 2</i>	237,5	80,6	16,2	13,0	33,1	185,0
			<i>P 7515</i>	235,0	83,1	17,9	15,3	41,8	285,0
	№ 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$)	2	<i>P 8521</i>	255,0	80,5	17,2	14,4	38,2	246,3
			<i>P 7460</i>	235,0	81,7	16,7	15,1	37,8	254,3
			<i>Молдавский 215 СВ</i>	242,5	81,8	16,3	12,7	32,8	144,0
			<i>Бирсу</i>	255,0	78,5	16,2	11,7	31,6	168,3
			<i>Алитет 2</i>	255,0	80,6	18,0	12,8	32,7	170,0
			<i>Гуран 2</i>	240,0	81,4	17,5	13,4	29,3	169,0
№ 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$)		1	<i>P 7515</i>	237,5	84,1	16,6	16,2	36,6	228,6
			<i>P 8521</i>	252,5	82,0	16,6	15,2	37,3	260,0
			<i>P 7460</i>	245,0	80,8	17,1	14,7	41,7	257,1
			<i>Молдавский 215 СВ</i>	215,0	82,7	16,2	12,2	30,8	168,0
			<i>Бирсу</i>	260,0	74,7	15,7	12,2	29,6	159,0
			<i>Алитет 2</i>	250,0	81,8	16,3	13,0	30,7	212,0
	№ 3 ($N_{130}P_{130}K_{90}$)	2	<i>Гуран 2</i>	245,0	78,6	17,0	12,6	33,5	194,0
			<i>P 7515</i>	267,5	82,6	17,2	14,5	39,2	292,7
			<i>P 8521</i>	260,0	82,0	16,7	13,8	38,7	233,7
			<i>P 7460</i>	245,0	80,9	16,2	14,8	39,0	251,6
			<i>Молдавский 215 СВ</i>	217,5	79,9	14,3	12,7	30,5	156,0
			<i>Бирсу</i>	262,5	75,7	15,4	12,4	29,1	159,0
НСР		A	<i>Алитет 2</i>	252,5	78,9	16,8	12,8	32,9	169,7
			<i>Гуран 2</i>	260,0	76,4	15,5	12,8	30,5	159,5
			<i>P 7515</i>	252,5	79,9	16,1	14,8	36,8	195,2
			<i>P 8521</i>	255,0	81,8	16,6	14,3	38,3	228,4
			<i>P 7460</i>	260,0	81,0	16,1	14,5	37,8	231,1
			<i>Молдавский 215 СВ</i>	210,0	79,7	14,5	11,0	28,2	146,0
	B	<i>Бирсу</i>	18,1	3,0	0,6	0,6	2,1	16,0	
		<i>Алитет 2</i>	14,7	2,5	0,5	0,5	1,7	12,7	
		<i>Гуран 2</i>	27,6	4,6	0,9	0,9	3,2	23,8	
		<i>P 7515</i>	47,8	8,0	1,5	1,5	5,5	41,3	
		<i>P 8521</i>	39,0	6,5	1,2	1,2	4,5	33,7	
		<i>P 7460</i>	25,5	4,3	0,8	0,8	2,9	22,1	
C	<i>Алитет 2</i>	67,5	11,2	2,2	2,1	7,7	58,4		
	<i>Гуран 2</i>								
	<i>P 7515</i>								
	<i>P 8521</i>								
	<i>P 7460</i>								
	<i>Молдавский 215 СВ</i>								

Наибольший урожай зерна 14% стандартной влажности был получен на фоне $N_{110}P_{110}K_{90}$ от гибрида *P 7460* (100,2 ц/га), новые сорта *Алитет 2* и *Гуран 2* превысили контрольный *Бирсу* на 75,1 и 80,9 ц/га соответственно (рис. 2).

На урожайность зерна 14% влажности влияли сортовые особенности на 69,98%, минеральное питание – 5,2, срок сева – 1,38%. Взаимодействие минерального питания и срока сева – 2,15%, минерального питания и сортовых особенностей –

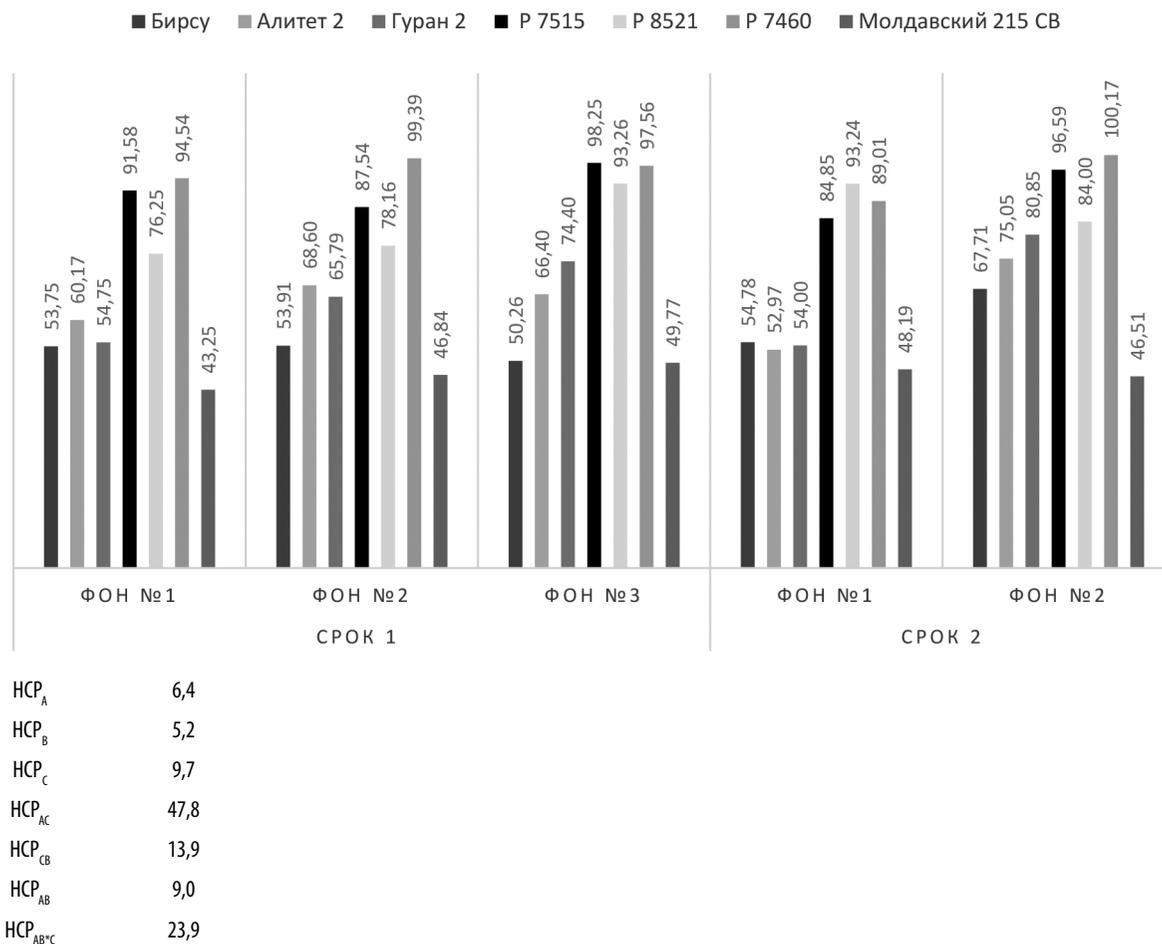


Рис. 2. Средняя урожайность зерна кукурузы, ц/га.

9,8, срока сева и сорта – 3,75, трех факторов – 7,75%.

При оценке гибридов и сортов кукурузы необходимо учитывать сроки созревания до полной спелости зерна и молочно-восковой для заготовки силоса. Следует учитывать, что климат Хабаровского края – муссонный. Новые сорта *Алитет 2*, *Гуран 2*, стандартный *Бирсу* и гибрид *Молдавский 215 СВ* удовлетворяют погодным условиям, вызревают до полной спелости и достигают молочно-восковой до сезона дождей, у гибридов *P 7515*, *P 8521* и *P 7460* эти периоды наступают позже, и они не могут быть заготовлены в виде качественного силоса и зернофуража на корм скоту.

Выводы. Показатели структуры урожая (выход зерна, длина початка, среднее число рядов в початке, число зерен в ряду, средний вес початка) зависят в первую очередь от сортовых особенностей растений (46,0...73,4%), в меньшей от фона минерального питания (6,2...17,8%) и срока сева (0,18...2,59%). На массу 1000 зерен больше повлияло дополнительное внесение азота и фосфора (40,67%), чем сортовые особенности (32,71%), срок сева – 0,01%.

Урожайность зерна 14% стандартной влажности была выше при дополнительном внесении азота и фосфора у гибридов иностранной селекции (*P 7460* до 100 ц/га) и среди местных сортов (*Гуран 2* – 280,9 ц/га).

Установили, что для Хабаровского края наиболее оптимальные для выращивания в кормовых

целях – новые сорта местной селекции *Алитет 2* и *Гуран 2*, способные давать хороший урожай зерна, полностью вызревать в экстремальных погодных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н. Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // *Агрохимия*. 2020. № 2. С. 77–83.
- Бельтюков Л.П., Кувшинова Е.К., Тюрин И.М., Козлов В.А. Продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от удобрений густоты стояния растений. *Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ*, 2015. 182 с.
- Волошин Е.И., Аветисян А.Т. Применение удобрений при возделывании кукурузы в Средней Сибири: метод. указания [Электронный ресурс], Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2018. 31 с.
- Говор Е.М., Хатефов Э.Б. Ранжирование коллекции кукурузы (*Zea mays L.*) ВИР по селекционно ценным признакам в агроклиматических условиях Республики Беларусь. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. № 181 (2). С. 28–34.
- Зубрев А.И. Интенсивная технология возделывания кукурузы в Хабаровском крае // *Методологические рекомендации ВАСХНИЛ*. Новосибирск, 1990, 72 с.
- Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина Н.С. и др. Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской обла-

- сти. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. № 26 (6). С. 583–592. DOI: 10.18699/VJGB-22-71
7. Панихин П.А., Соколов В.А. Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гаммаграсом. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181 (1). С. 17–23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23
 8. Сотченко В.С. Перспективы производства зерна кукурузы в Российской Федерации. Мат. науч.-практ. конф. «Селекция и семеноводство, производство зерна кукурузы». Пятигорск: Кавказская здравница, 2002. С. 5–16.
 9. Bumbar I.V., Shchegorets O.V., Sinigovskaya V.T. et al. Optimization of agrotechnical terms of harvesting of crops, design and operating parameters of crop-harvesting machines under conditions of the Amur region Russian // Federation Plant Archives Journal. 2018. Vol. 18 (2). P. 2567–2572.
 10. Strom N. Noah Interactions between Soil Properties, Fungal Communities, the Soybean Cyst Nematode, and Crop Yield under Continuous Corn and Soybean Monoculture // Applied Soil Ecology. 2020. Vol. 147. PP. 103–388.
- REFERENCES**
1. Bagrinceva V.N., Ivashenko I.N. Vliyanie pogodnyh uslovij v Stavropol'skom krae na effektivnost' doz azotnogo udobreniya na kukuruze // Agrohimiya. 2020. № 2. S. 77–83.
 2. Bel'tyukov L.P., Kuvshinova E.K., Tyurin I.M., Kozlov V.A. Produktivnost' gibridov kukuruzy v zavisimosti ot udobrenij gustoty stoyaniya rastenij. Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut FGBOU VPO DGAU, 2015. 182 s.
 3. Voloshin E.I., Avetisyan A.T. Primenenie udobrenij pri vozdelevanii kukuruzy v Srednej Sibiri: metod. ukazaniya [Elektronnyj resurs], Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2018. 31 s.
 4. Govor E.M., Hatefov E.B. Ranzhirovanie kollekcii kukuruzy (*Zea mays* L.) VIR po selekcionno cennym priznakam v agroklimaticheskikh usloviyah Respubliki Belarus'. Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020. № 181 (2). С. 28–34.
 5. Zubrev A.I. Intensivnaya tekhnologiya vozdelevaniya kukuruzy v Habarovskom krae // Metodologicheskie rekomendacii VASKHNIL. Novosibirsk, 1990, 72 s.
 6. Kolomeec T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S. i dr. Osobennosti vidovogo sostava patogennyh gribov roda *Fusarium* v biocenozah kukuruzy Voronezhskoj oblasti. Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2022. № 26 (6). С. 583–592. DOI: 10.18699/VJGB-22-71
 7. Panihin P.A., Sokolov V.A. Furazhnye kachestva geterozisyh mezhrodovyh gibridov kukuruzy s gammagrassom. Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020; 181 (1): 17–23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23
 8. Sotchenko V.S. Perspektivy proizvodstva zerna kukuruzy v Rossijskoj Federacii. Мат. науч.-практ. конф. «Selekcija i semenovodstvo, proizvodstvo zerna kukuruzy». Pyatigorsk: Kavkazskaya zdavnica, 2002. С. 5–16
 9. Bumbar I.V., Shchegorets O.V., Sinigovskaya V.T. et al. Optimization of agrotechnical terms of harvesting of crops, design and operating parameters of crop-harvesting machines under conditions of the Amur region Russian // Federation Plant Archives Journal. 2018. Vol. 18 (2). P. 2567–2572.
 10. Strom N. Noah Interactions between Soil Properties, Fungal Communities, the Soybean Cyst Nematode, and Crop Yield under Continuous Corn and Soybean Monoculture // Applied Soil Ecology. 2020. Vol. 147. PP. 103–388.

*Поступила в редакцию 13.01.2024
Принята к публикации 27.01.2024*

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ КУКУРУЗЫ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ПРОПАШНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ПРИ ЭНЕРГОНАКОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЫ

Муслим Гайирбегович Абдулнатипов¹, кандидат технических наук

Гасан Никувевич Гасанов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Раджаб Замилэфендиевич Усманов², доктор биологических наук, главный научный сотрудник

Магомед Расулович Мусаев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова,

г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия

²Дагестанский государственный федеральный исследовательский центр РАН (ДФИЦ РАН), г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия

E-mail: abdulnatipovm@mail.ru

Аннотация. Объект исследования – светло-каштановая почва «Агрофирмы Чох» Гунибского района в Кизильюртовской зоне отгонного животноводства Республики Дагестан. Содержание гумуса в пахотном слое – 2,77%, P_2O_5 – 2,21, K_2O – 32,8 мг/100 г, плотность пахотного слоя почвы – 1,24 г/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) в слое 0–0,6 м – 29,2%. Исследовали эффективность двух пропашных предшественников (подсолнечник на семена, кукуруза на зерно) и применение предплужников при основной обработке почвы под кукурузу. Определяли влажность почвы, поливные и оросительные нормы, приходные и расходные статьи водного баланса, коэффициент водопотребления кукурузы. Во II декаде мая растительные остатки предшественников измельчали с помощью двукратного дискования тяжелыми дисковыми боронами БДТ-3, вспахивали на глубину 0,28–0,30 м плугом ПЛН-4-35 с использованием предплужников и без них, поле выравнивали малой-выравнивателем МВ-6 и поливали из расчета увлажнения слоя почвы 0–0,6 м по полосам с боковым пуском воды вручную, вегетационные поливы осуществляли по бороздам. Высевали семена подсолнечника сорта ВНИИМК-8883, кукурузы – гибрида РОСС-299, норма высева – по 72 тыс. семян/га. Удобрения под подсолнечник вносили из расчета $N_{90}P_{40}K_{90}$, в том числе $N_{40}P_{24}K_{74}$ под вспашку, $N_{16}P_{16}K_{16}$ – при посеве с семенами, N_{34} – в подкормку в фазе пяти–шести листьев при нарезке борозд, под кукурузу – $N_{90}P_{40}$, из которых $N_{40}P_{24}$ под вспашку, $N_{16}P_{16}K_{16}$ при посеве с семенами, N_{30} в подкормку в фазе трех–пяти листьев. Установлено, что в районах орошаемого земледелия Западного Прикаспия при подборе пропашных предшественников для кукурузы на зерно предпочтительнее надо давать раннеспелым сортам подсолнечника на семена, которые убирают в III декаде июля, а после уборки ее в почве остается более 15 т/га растительной массы. При этом достигается максимальная урожайность кукурузы – 9,16 т/га зерна, превышающая контроль на 33,1%, благодаря чему при одинаковом с контрольным вариантом суммарном водопотреблении коэффициент водопотребления снижается на 23,7%.

Ключевые слова: предшественники, кукуруза, подсолнечник, предплужник, оросительные нормы, урожайность, коэффициент водопотребления

WATER CONSUMPTION OF CORN UNDER DIFFERENT METHODS OF PRIMARY TILLAGE AFTER ROW-CROP PREDECESSORS ON AN ENERGY-STORAGE SOIL MAINTENANCE SYSTEM

M.G. Abdulnatipov¹, PhD in Engineering Sciences

G.N. Gasanov^{1,2}, Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor

R.Z. Usmanov², Grand PhD in Biological Sciences, Chief Researcher

M.R. Musayev¹, Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor

¹Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

²Dagestan State Federal Research Center RAS (DFRC RAS), Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

E-mail: abdulnatipovm@mail.ru

Abstract. The object of research was the light chestnut soil of the Chokh Agrofirma of the Gunibsky district in the Kizilyurt transhumance zone of the Republic of Dagestan. The humus content in the arable layer is 2.77%, P_2O_5 – 2.21, K_2O – 32.8 mg/100 g, the density of the arable soil layer is 1.24 g/cm³, the lowest moisture capacity (MC) is 29.2% (layer 0–0.6 m). The effectiveness of two row-crop predecessors was studied: sunflower for seeds and corn for grain, and the use of skimmers in the main tillage for corn. Soil moisture, watering and irrigation standards, incoming and outgoing items of the water balance and the coefficient of water consumption for corn were determined. In the second ten days of May, the plant remains of predecessors were crushed using double disking with heavy disc harrows BDT-3, plowing was carried out to a depth of 0.28–0.30 m with a PLN-4-35 plow with and without skimmers, the field was leveled with a small leveler MV – 6 and watered at the rate of moistening the soil layer of 0–0.6 m in strips with lateral release of water manually, vegetation irrigation was carried out in furrows. Sunflower sowing was carried out with seeds of the VNIIMK-8883 variety, corn – hybrid ROSS-299, the seeding rate for both crops was 72 thousand seeds/ha. Fertilizers for sunflower were applied at the rate of $N_{90}P_{40}K_{90}$, including $N_{40}P_{24}K_{74}$ for plowing, $N_{16}P_{16}K_{16}$ – when sowing with seeds, N_{34} for fertilizing in the phase of 5–6 leaves when cutting furrows, for corn – $N_{90}P_{40}$, of which $N_{40}P_{24}$ for plowing, $N_{16}P_{16}K_{16}$ when sowing with seeds, N_{30} in fertilizing in the phase of 3–5 leaves. It has been established that in the areas of irrigated agriculture of the Western Caspian region, when selecting row-crop predecessors for

corn for grain, preference should be given to early-ripening varieties of sunflower for seeds, which are harvested in the third decade of July, and after harvesting it remains in the soil more than 15 t/ha of plant mass. At the same time, the maximum corn yield is achieved – 9.16 t/ha of grain, exceeding the control by 33.1%, due to which, with the same total water consumption as the control option, the water consumption coefficient is reduced by 23.7%.

Keywords: predecessors, corn, sunflower, skimmer, irrigation standards, yield, water consumption coefficient

В районах с достаточным увлажнением и орошаемым земледелием основная обработка почвы под кукурузу и другие яровые культуры заключается в проведении предпахотного лущения и осенней вспашки. [1, 2] Исследователи указывают на преимущества такой системы обработки почвы, по сравнению с мелкой и поверхностной, по своему влиянию на засоренность посевов, агрофизические свойства почвы, урожайность и экономическую эффективность производства. [3–8]

В восьми – десяти полевых севооборотах орошаемых районов Западного Прикаспия кукуруза занимает одно-два поля, а в хозяйствах специализирующихся на откорме скота, еще больше – до 40...50% в структуре посевных площадей. При этом используют сдвоенный плодосмен: два поля озимой пшеницы с пожнивным естественным фитосенозом (ПЕФ), формируемым после уборки озимой пшеницы в пожнивной период на зеленое удобрение, и два – кукурузы на зерно. Сдвоенный плодосмен применяют потому, что кукуруза на зерно считается неудовлетворительным предшественником для озимой пшеницы из-за поздних сроков уборки и некачественной подготовки уплотнившегося после многократных проходов уборочных машин пахотного слоя почвы к посеву зерновой культуры. В севооборотах с высокой долей кукурузы она два года размещается сама по себе, сокращая этим во столько же раз площади посевов озимой пшеницы по кукурузе на зерно. Подсолнечник на семена не лучший предшественник для озимых, поэтому его используют как вторую пропашную культуру в сдвоенном плодосмене.

Согласно рекомендациям [4] основную обработку почвы под кукурузу на зерно и предпосевную влагозарядковый полив необходимо проводить весной с наступлением физической спелости почвы в пахотном слое. При этом срок посева кукурузы задерживается на 20...25 дн., но благодаря резкому снижению засоренности посевов урожайность повышается почти на 48%. В последующих наших исследованиях подсолнечник также повышал урожайность семян на 28% при переносе срока основной обработки почвы, влагозарядкового полива и посева на весенний срок. Причина – существенное снижение засоренности посевов.

Перенос срока проведения основной обработки почвы и влагозарядкового полива на весну полностью не решает проблемы с засоренностью полей кукурузы и других пропашных культур. В последние 40...50 лет вспашку в сельскохозяйственных предприятиях проводят без предплужников, поскольку при их наличии корпуса плугов забиваются растительными остатками, трактористу приходится останавливать работу, удалять накопившуюся солому вручную, теряя при этом производительность. Ему легче убрать предплужник, перевыполнить дневное задание, хотя при этом пласт почвы с семенами

сорняков и растительными остатками не оборачивается полностью, не происходит полная заделка их в почву. Поэтому не в полной мере достигается положительный эффект от весенних сроков проведения основной обработки почвы и влагозарядкового полива под эту культуру. Энергонакопительная система содержания почвы предусматривает накопление в ней после уборки предшественника большого количества растительных остатков и для достижения такого результата – перенос срока основной обработки почвы на максимально близкое время к посеву следующей культуры севооборота.

Цель работы – изучить водопотребление кукурузы разными способами основной обработки почвы после пропашных предшественников при энергонакопительной системе содержания почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования провели на светло-каштановой почве «Агрофирмы Чох» Гунибского района в Кизильюртовской зоне отгонного животноводства Республики Дагестан. Содержание гумуса в пахотном слое – 2,77%, P_2O_5 – 2,21, K_2O – 32,8 мг/100 г почвы, плотность пахотного слоя – 1,24 г/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) в слое почвы 0...0,6 м – 29,2%. Исследовали два способа основной обработки почвы под кукурузу при вспашке на глубину 28...30 см: без предплужника и с ними по двум предшественникам (кукуруза на зерно, подсолнечник на семена). За осенний период после уборки предшественников почву не обрабатывали, а весной с наступлением ее физической спелости в слое 0...15 см дважды применяли дискование тяжелыми дисковыми боронами БДТ-3 для измельчения растительных остатков предшествующей культуры и вспашку на 28...30 см плугом ПЛН-4-35 при наступлении физической спелости почвы в пахотном слое. После вспашки почву выравнивали малой-выравнивателем МВ-6 и осуществляли поливы слоя почвы 0...60 см по полосам с боковым пуском воды вручную, вегетационные – по бороздам. Предпосевную обработку провели тяжелыми зубowymi боронами при наступлении физической спелости почвы в слое 0...10, 0...12 см, посев кукурузы – семенами гибрида *РОСС-299*, подсолнечника – сорта *ВНИИМК-8883*. Норма высева – 72 тыс. семян/га. Удобрения под подсолнечник вносили из расчета $N_{90}P_{40}K_{90}$, в том числе $N_{40}P_{24}K_{74}$ – под вспашку, $N_{16}P_{16}K_{16}$ – при посеве с семенами, N_{34} – в подкормку в фазе пяти-шести листьев при нарезке борозд, под кукурузу – $N_{90}P_{40}K_{16}$, из которых $N_{40}P_{24}$ – под вспашку, $N_{16}P_{16}K_{16}$ – при посеве с семенами, N_{30} – в подкормку в фазе трех-пяти листьев. Высевали кукурузу и подсолнечник в начале III декады мая.

Определяли содержание влаги в почве послойно до 0,6 м в соответствии с методиками (В.П. Васильев и др. Практикум по земледелию, 2000), про-

водили фенологические наблюдения, учет и анализ структуры урожая кукурузы и подсолнечника (Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1985), статистическую обработку биометрических данных – методом дисперсионного анализа (Б.А. Доспехов, 1985). Площадь учетной делянки – 100 м², повторность четырехкратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ресурсосберегающая система содержания почвы основана на том, чтобы максимально использовать период после уборки предшественника до посева последующей культуры для накопления растительной массы и ее запашки на зеленое удобрение. После уборки озимой пшеницы для получения максимального количества органической массы до ее повторного посева (90...110 дн.) в условиях Западного Прикаспия рекомендован полив. За этот период проводят два укоса пожнивной растительной массы, чтобы не допустить поступления в почву новой партии жизнеспособных семян сорных растений. [4] Продолжительность периода между уборкой предшественника и посевом следующей яровой культуры сокращается. Например, после уборки пожнивной кукурузы осенью основную обработку почвы весной следующего года осуществляли с 30 апреля до 6 мая. [9]

В наших исследованиях кукурузу на зерно и подсолнечник на семена убирали в более ранние сроки: соответственно в первых декадах сентября и августа. После уборки их осенью почву не обрабатывали и не поливали. Vegetация естественного фитоценоза продолжалась до конца ноября, возобновлялась в безморозные дни зимнего периода. Сумма положительных температур воздуха до конца вегетации ПЕФ после уборки кукурузы в 2018 году за три месяца – 50,6°С, 2019 – 48,6°, 2020 – 47,6°, весной от возобновления вегетации

Таблица 1.
Фитомасса ПЕФ пожнивных и поукосных остатков пропашных культур, поступившая в почву перед основной обработкой почвы под кукурузу по годам, т/га

Продукция	2017–2018	2018–2019	2019–2020	Средняя
После кукурузы				
Пожнивные остатки	0,72	0,97	0,94	0,88
Корневые остатки	1,81	2,10	2,17	2,03
ПЕФ	7,12	7,92	7,69	7,58
Всего	9,73	11,16	10,84	10,58
После подсолнечника				
Пожнивные остатки	4,39	4,71	4,65	4,58
Корневые остатки	1,89	2,27	2,21	2,18
ПЕФ	8,96	9,52	9,44	9,24
Всего	15,16	16,33	16,26	15,85
НСР ₀₅				
Пожнивные остатки	0,29	0,38	0,56	
Корневые остатки	0,16	0,12	0,22	
ПЕФ	0,88	0,98	0,96	

до начала основной обработки почвы – 39,2°, 43,0° и 40,9°С соответственно. Суммарное количество положительных температур за осенний и весенний периоды вегетации ПЕФ по годам – 89,8°, 88,5° и 91,6°С. После подсолнечника, который убирали на месяц раньше кукурузы, сумма положительных температур, используемых ПЕФ за осень и весну, увеличилась на 29,7, 31,3 и 22,4%.

Для достижения высоких урожаев ПЕФ в регионе важно количество осадков, выпавших за вегетацию. После уборки кукурузы на зерно в 2017 году за вегетацию ПЕФ выпало 82,3 мм, 2018 – 123,2, 2019 – 127,4 мм, весной 2018–2020 годов – 114,7, 78,5 и 109,5 мм. Всего за осень и весну ПЕФ использовал в среднем за три года после кукурузы – 214,9 мм, после подсолнечника – 232,8 мм осадков. Соответственно меняется и количество органической массы, накопленной ПЕФ (табл. 1).

Таблица 2.
Влажность почвы в слое 0...60 см за вегетационный период кукурузы при различных приемах основной обработки почвы после пропашных предшественников в 2018–2020 годах, % НВ

Прием основной обработки почвы	Год исследования	До влагозарядкового полива	Выметывание кукурузы/цветение подсолнечника	Уборка урожая
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	2018	68,5	70,6	71,5
	2019	60,4	73,5	73,3
	2020	65,5	72,8	72,4
	средняя	64,8	72,3	72,3
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника на семена без предплужника	2018	69,5	75,8	74,6
	2019	61,0	76,7	75,8
	2020	65,3	77,5	74,8
	средняя	65,3	76,7	75,1
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	2018	68,7	71,1	72,5
	2019	61,5	73,3	76,1
	2020	65,7	74,0	73,0
	средняя	65,3	72,8	73,9
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника на семена с предплужником	2018	67,5	75,2	74,2
	2019	61,2	76,6	75,8
	2020	66,0	74,5	74,8
	средняя	64,9	75,6	74,7

Таблица 3.

**Поливные и оросительные нормы кукурузы при различных приемах основной обработки почвы
после пропашных предшественников по годам, м³/га**

Прием основной обработки почвы	Полив	2018	2019	2020	Средняя
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	Влагозарядковый	690	860	750	770
	Вегетационный	640	580	600	600
	Оросительная норма	1330	1420	1350	1370
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	Влагозарядковый	670	860	760	760
	Вегетационный	530	510	490	510
	Оросительная норма	1400	1370	1250	1270
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	Влагозарядковый	680	850	750	760
	Вегетационный	630	580	570	600
	Оросительная норма	1310	1430	1320	1360
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	Влагозарядковый	710	850	740	770
	Вегетационный	540	510	560	540
	Оросительная норма	1250	1360	1300	1310

Таблица 4.

**Суммарное водопотребление кукурузы в зависимости от приема основной обработки почвы
и предшественника по годам, м³/га**

Прием основной обработки почвы	Запас воды в почве при посеве	Оросительная норма	Осадки	Остаток воды в почве при уборке урожая	Суммарное водопотребление
2017–2018					
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	1500	1330	850	1560	2120
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	1520	1400	1020	1630	2310
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	1500	1310	850	1580	2080
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	1480	1250	1020	1580	2170
2018–2019					
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	1320	1420	850	1610	1980
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	1330	1370	1020	1660	2060
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	1350	1430	850	1640	1990
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	1340	1360	1020	1640	2080
2019–2020					
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	1440	1350	850	1500	2140
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	1430	1250	1020	1670	2030
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	1440	1320	850	1600	2010
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	1440	1300	1020	1610	2150
Среднее за 2017–2020					
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	1420	1370	850	1560	2080
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	1430	1270	1020	1660	2060
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	1430	1360	850	1640	2000
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	1420	1310	1020	1640	2110

Таблица 5.

Коэффициент водопотребления кукурузы в зависимости от приема основной обработки почвы и предшественника, в среднем за 2018–2020 годы

Прием основной обработки почвы	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га зерна	Коэффициент водопотребления	% к контролю
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно без предплужника	2080	6,88	302,3	100,0
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника без предплужника	2060	7,91	260,4	86,1
Вспашка на 28...30 см после кукурузы на зерно с предплужником	2000	8,55	233,9	77,4
Вспашка на 28...30 см после подсолнечника с предплужником	2110	9,16	230,3	76,2

При уборке кукурузы на зерно вся листостебельная масса вывозится с поля на силос, поэтому пожнивных остатков после нее в 5,2 раза меньше, чем после подсолнечника, вся растительная масса после уборки семян находится в поле. Корневых остатков у подсолнечника также больше на 7,8%, растительной массы ПЕФ после его уборки накапливается в 1,5 раза больше, чем после кукурузы. Настолько же больше суммарное количество растительной массы после подсолнечника. Судя по этим показателям можно ожидать, что подсолнечник окажется более предпочтительным предшественником для следующей за ним культуры, чем кукуруза, в частности по своему влиянию на водный режим почвы и водопотребление растений.

В фазе выметывания кукурузы влажность почвы в слое 0...0,6 м не зависела от приема основной обработки почвы (74,5...74,2%), но имела более высокие показатели (76,1%) при размещении после подсолнечника, по сравнению с посевом после самой кукурузы (72,8%) (табл. 2).

Из-за одинаковой влажности почвы в слое 0...0,6 м норма влагозарядкового полива по всем вариантам опыта была одинаковой – по 760 м³/га. Но при вегетационных поливах она на кукурузе по подсолнечнику увеличилась на 15,4%, по сравнению с повторным посевом кукурузы на том же поле, что привело к увеличению оросительной нормы на 5,4% (табл. 3).

Мы считаем, что она выросла из-за увеличения расхода воды на формирование дополнительного урожая зерна и листостебельной массы кукурузы по этому предшественнику, в почву при его уборке поступило на 5,42 т/га больше растительной массы, чем после самой кукурузы. Суммарное водопотребление кукурузы остается на одинаковом уровне по обоим исследуемым показателям: в среднем по предшественникам – 2040 (после кукурузы)...2080 (после подсолнечника) м³/га, при основной обработке плугом без предплужника – 2070, с предплужником – 2060 м³/га (табл. 4).

Рассматриваемые приемы обработки почвы и предшественники значительно повлияли на урожайность кукурузы и коэффициент ее водопотребления (табл. 5). Максимальная урожайность достигнута при посеве ее по подсолнечнику и с использованием при вспашке плуга с предплужником – 9,16 т/га зерна.

Поскольку суммарное водопотребление этой культуры была практически одинаковой по исследуемым предшественникам и приемам обработки почвы, то максимальное значение коэффициента водопотребления отмечено в варианте с кукурузой после подсолнечника и проведении вспашки

плугом с предплужником – 230,3 ед., или на 23,7% меньше, чем в контроле.

Выводы. В районах орошаемого земледелия Западного Прикаспия при подборе пропашных предшественников для кукурузы на зерно предпочтительнее использовать раннеспелые сорта подсолнечника на семена, которые убирают в III декаде июля, после чего в почве остается более 15 т/га растительной массы (в сумме пожнивных остатков подсолнечника и зеленая масса ПЕФ). Достигается максимальная урожайность кукурузы – 9,16 т/га зерна, превышающая контроль на 33,1%, благодаря чему при одинаковом суммарном водопотреблении с контрольным вариантом коэффициент водопотребления снижается на 23,7%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Боронтов О.К., Косякин П.А., Манаенкова Е.Н. Влияние основной обработки и удобрений на питательный режим и физические свойства почвы при возделывании сахарной свеклы // Земледелие. 2019. № 2. С. 33–35.
2. Власова О.И., Есаулко А.Н., Шабаллас О.Г., Дрепа Е.Б. Развитие системы обработки почвы на Ставрополье // Земледелие. 2022. № 8. С. 26–30.
3. Жеруков Б.Х., Кегадуев, В.Ш., Хачетлов Р.М., Унежев Х.М. Интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. Нальчик: КБСХА, 2006. 246 с.
4. Магомедов Д.У., Гасанов Г.Н., Айтемиров А.А. Обработка почвы под кукурузу на орошаемых землях Дагестана // Земледелие. 2008. № 4. С. 33–34.
5. Мнатсаканян А.А., Чуварлеева Г.В., Быков О.Б. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы // Земледелие. 2022. № 5. С. 15–19.
6. Несмеянова М.А., Дедов А.В., Коротких Е.В. Влияние приемов основной обработки почвы на ее плодородие, засоренность посевов и урожайность ячменя // Земледелие. 2022. № 4. С. 8–11.
7. Поляков А.И., Никитенко О.В., Литошко С.В. Влияние агроприемов выращивания на фотосинтетическую деятельность и урожайность подсолнечника // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 93–98.
8. Пургин Д.В., Усенко В.И., Кравченко В.И. и др. Формирование засоренности посевов в зернопаровом севообороте в зависимости от способа обработки почвы и применения средств химизации // Земледелие. 2019. № 8. С. 6–14.
9. Тимошенко Г.З. Способы основной обработки почвы в севообороте и урожайность подсолнечника // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. Вып. 3 (163). 2015. С. 50–54.

REFERENCES

1. Borontov O.K., Kosyakin P.A., Manaenkova E.N. Vliyanie osnovnoj obrabotki i udobrenij na pitatel'nyj rezhim i fizicheskie svojstva pochvy pri vozdeleyvanii saharnoj svekly // Zemledelie. 2019. № 2. S. 33–35.
2. Vlasova O.I., Esaulko A.N., Shabaldas O.G., Drepa E.B. Razvitie sistemy obrabotki pochvy na Stavropol'e // Zemledelie. 2022. № 8. S. 26–30.
3. Zherukov B.H., Kegaduev, V.Sh., Hachetlov R.M., Unezhev H.M. Intensivnaya tekhnologiya vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur na oroshaemyh zemlyah. Nal'chik: KBSKHA, 2006. 246 s.
4. Magomedov D.U., Gasanov G.N., Ajtemirov A.A. Obrabotka pochvy pod kukuruзу na oroshaemyh zemlyah Dagestana // Zemledelie. 2008. № 4. S. 33–34.
5. Mnatsakanyan A.A., Chuvarleeva G.V., Bykov O.B. Pokazateli plodorodiya chernozema vyshchelochennogo v zavisimosti ot sistem osnovnoj obrabotki pochvy // Zemledelie. 2022. № 5. S. 15–19.
6. Nesmeyanova M.A., Dedov A.V., Korotkih E.V. Vliyanie priemov osnovnoj obrabotki pochvy na ee plodorodie, zasorennost' posevov i urozhajnost' yachmenya // Zemledelie. 2022. № 4. S. 8–11.
7. Polyakov A.I., Nikitenko O.V., Litoshko S.V. Vliyanie agropriemov vyrashchivaniya na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i urozhajnost' podsolnechnika // Vestnik belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020. № 4. S. 93–98.
8. Purgin D.V., Usenko V.I., Kravchenko V.I. i dr. Formirovanie zasorennosti posevov v zernoparovom sevooborote v zavisimosti ot sposoba obrabotki pochvy i primeneniya sredstv himizacii // Zemledelie. 2019. № 8. S. 6–14.
9. Timoshenko G.Z. Sposoby osnovnoj obrabotki pochvy v sevooborote i urozhajnost' podsolnechnika // Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten' Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnyh kul'tur. Vyp. 3 (163). 2015. S. 50–54.

Поступила в редакцию 29.01.2024

Принята к публикации 12.02.2024

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОСАГРО NPK И ГУМИТОНА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Дмитрий Георгиевич Свириденко, кандидат биологических наук
Светлана Петровна Арышева, кандидат биологических наук
Алексей Афанасьевич Сулов, кандидат сельскохозяйственных наук
Николай Геннадьевич Иванкин, научный сотрудник
Константин Владимирович Петров, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Калужская обл., Россия
E-mail: ecology2003@mail.ru

Аннотация. По результатам трехлетних производственных испытаний оценили эффективность применения удобрения ФосАгро NPK и нового органоминерального комплекса на основе торфа Гумитон в технологиях возделывания картофеля на радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых почвах Новозыбковского района Брянской области. Почвы отличались уровнем плодородия и по плотности загрязнения ^{137}Cs . Листовая обработка Гумитоном (1 л/га) посадок картофеля в фазе бутонизации без применения удобрения способствовала росту урожая клубней на 17,3–31,5%, по сравнению с контролем в зависимости от года. Внесение удобрения ФосАгро NPK в дозе 0,5 т/га обеспечило прибавку урожайности картофеля на 22–42% относительно контроля. Совместное применение удобрения и препарата увеличило урожай клубней на 12–19%, сравнительно с вариантом ФосАгро NPK и на 37–68% – контролем. Кратность снижения поступления ^{137}Cs в клубни при обработке посадок картофеля Гумитоном – до 6,4 раза по отношению к контролю, при совместном использовании препарата и удобрения – до 3,4 раза по сравнению с вариантом ФосАгро NPK. Применение Гумитона и ФосАгро NPK гарантировало получение клубней картофеля с содержанием ^{137}Cs , соответствующим нормативам СанПиН 2.3.2. 2650-10. На радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых почвах Брянской области следует использовать органоминеральный комплекс Гумитон и удобрение ФосАгро NPK для получения нормативно чистой продукции картофелеводства.

Ключевые слова: Гумитон, ФосАгро NPK, картофель, урожайность, дерново-подзолистая почва, коэффициент перехода ^{137}Cs

EFFECTIVENESS OF PHOSAGRO NPK AND GUMITON UNDER CULTIVATING POTATOES IN RADIOACTIVE SOIL CONTAMINATION CONDITIONS

D.G. Sviridenko, *PhD in Biological Sciences*
S.P. Arysheva, *PhD in Biological Sciences*
A.A. Suslov, *PhD in Agricultural Sciences*
N.G. Ivankin, *Researcher*
K.V. Petrov, *Researcher*

Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute»,
Obninsk, Kaluga region, Russia
E-mail: ecology2003@mail.ru

Abstract. Based on the results of three-year production tests, the effectiveness of the use of PhosAgro NPK complex fertilizer and a new organo-mineral complex based on Gumiton peat in potato cultivation technologies on radioactively contaminated sod-podzolic soils in the Novozybkovsky district of the Bryansk region was assessed. Soils differed in the level of fertility and in the density of ^{137}Cs pollution. It was shown that leaf treatment of 1 l/ha Gumiton plantings in the potato budding phase without fertilizer contributed to a 19 – 58% increase in tuber yield relative to control, depending on the year. The introduction of PhosAgro NPK fertilizer at a dose of 0.5 t/ha ensured an increase in potato yield by 22 – 42% relative to the control. The joint use of fertilizer and the drug increased the tuber harvest by 12 – 19%, compared to the PhosAgro NPK variant and by 37 – 68% relative to control. The multiplicity of the decrease in ^{137}Cs intake into tubers during the treatment of potato plantings with Gumiton was up to 6.4 times in relation to the control, with the combined use of the drug and fertilizer – up to 3.4 times in comparison with the PhosAgro NPK variant. The use of Gumiton and PhosAgro NPK guaranteed the production of potato tubers with ^{137}Cs content in accordance with SanPiN 2.3.2 standards. 2650-10. The use of the Gumiton organic-mineral complex and PhosAgro NPK complex fertilizer for production of regulatory clean potato products should be recommended on radioactively contaminated sod-podzolic soils of the Bryansk region.

Keywords: Gumiton, PhosAgro NPK, soddy-podzolic soil, transition coefficient ^{137}Cs , potatoes, yield

Крупнейшая в XX веке авария 1986 года на ЧАЭС привела к масштабному загрязнению ^{137}Cs с плотностью выше 37 кБк/м² (1 Ку/км²) более 150 тыс. км² территории бывшего СССР, в том числе части Российской Федерации (Брянская, Калуж-

ская, Орловская и Тульская области) и Республики Беларусь. [9]

В Брянской области долгоживущими радионуклидами (^{137}Cs) была заражена площадь с естественными кормовыми угодьями свыше 491 тыс.

нение универсальное, в том числе для переработки на муку, крахмал. Содержит более 16% крахмала. [8]

Органическое вещество в почве определяли по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 2642385), Hg – по Каппену (ГОСТ 26212-91), подвижные формы P_2O_5 и K_2O – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91).

После уборки картофеля оценивали урожайность, содержание ^{137}Cs в клубнях (Бк/кг) и плотность загрязнения почвы (кБк/м²) для расчета коэффициента перехода ($Kp^{137}Cs$) в клубни.

Измерения проводили в аккредитованной испытательной лаборатории радиационного контроля НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ по аттестованным методикам, используя полупроводниковый гамма-спектрометр Canberra с программным обеспечением Genie-2000.

Экспериментальные данные обрабатывали методами непараметрической статистики (EXCEL 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опыт 2020 года.

По данным Новозыбковской метеостанции, в мае-августе зафиксированы благоприятные погодные условия: в мае выпало 66,1 мм осадков (среднегодовое значение – 54,1 мм), в июне и июле дефицита осадков не отмечали, сравнительно со среднегодовыми значениями, а температура воздуха превышала норму на 2,1...2,9°C, августе – 0,8°C (осадков выпало в 1,2 раза больше, по сравнению со среднегодовыми значениями). [18]

Прибавка урожайности картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве с применением ФосАгро NPK составила 5,8 т/га, что выше на 22,3%,

по сравнению с контролем (табл. 2). С внесением агроメリоранта содержание ^{137}Cs в клубнях снизилось до 4,0 Бк/кг (контроль – 16,3 Бк/кг), кратность снижения – 4,1 раза. При использовании Гумитона урожайность картофеля была 30,5 т/га, что на 17,3% выше контроля. На фоне внесения ФосАгро NPK и гуминового препарата урожайность достигла 34,5 т/га, на 12,2% выше варианта без Гумитона. При обработке растений Гумитоном содержание ^{137}Cs в клубнях – 4,2 Бк/кг, кратность снижения его накопления находилась на уровне 6,4 раза, по отношению к контролю. Эффективность применения препарата в посадках картофеля показана по результатам проведенных ранее исследований. [8] Содержание ^{137}Cs в клубнях во всех вариантах опыта гораздо ниже нормативов СанПиН 2.3.2. 2650-10 (80 Бк/кг).

Совместное использование ФосАгро NPK и Гумитона способствовало увеличению урожая клубней на 9,7 т/га или на 37,3% относительно контроля. $Kp^{137}Cs$ при этом снизился в 3,4 раза.

Опыт 2021 года.

Метеоусловия повлияли на развитие растений и урожайность картофеля. По данным Новозыбковской метеостанции, в мае-августе зафиксированы неблагоприятные погодные условия. В мае выпало 126,7 мм осадков (среднегодовое значение – 54,1 мм), в июне и июле дефицит осадков составил 48% среднегодовых значений, температура воздуха была выше нормы на 4,1...5,0°C, августе – 1,9°C, осадков выпало в 2,2 раза больше, по сравнению со среднегодовым количеством. [18]

В таких условиях урожайность клубней с внесением ФосАгро NPK составила 27,0 т/га, что на 42,1% выше, по сравнению с контролем (табл. 3). На фоне Гумитона показатель зафиксирован на уровне 25,0 т/га, 31,5% к контролю. $Kp^{137}Cs$ в клубни был низкий

Таблица 2.
Оценка влияния ФосАгро NPK и Гумитона на урожайность и содержание ^{137}Cs в клубнях картофеля, 2020 год

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка, %	Содержание ^{137}Cs в клубнях, Бк/кг	Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	$Kp^{137}Cs$	Кратность снижения $Kp^{137}Cs$, раз
ФосАгро NPK						
1. Фон – технология хозяйства (контроль)	26,0	–	16,3	122	0,134	–
2. Фон + ФосАгро NPK	31,8	22,3	4,0	142	0,028	4,8
Гумитон						
1. Фон + Гумитон	30,5	17,3	4,2	202	0,021	6,4
2. Фон + ФосАгро NPK + Гумитон	35,7	12,3	7,6	197	0,039	3,4
HCP_{05}	3,5	x	x	x	x	x

Таблица 3.
Оценка влияния ФосАгро NPK и Гумитона на урожайность и содержание ^{137}Cs в клубнях картофеля, 2021 год

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка, %	Содержание ^{137}Cs в клубнях, Бк/кг	Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	$Kp^{137}Cs$	Кратность снижения $Kp^{137}Cs$, раз
ФосАгро NPK						
1. Фон – технология хозяйства (контроль)	19,0	–	13,9	249,0	0,056	–
2. Фон + ФосАгро NPK	27,0	42,1	23,6	376,0	0,063	–
Гумитон						
1. Фон + Гумитон	25,0	31,5	11,9	298,5	0,040	1,4
2. Фон + ФосАгро NPK + Гумитон	32,0	18,5	7,2	196,0	0,037	1,7
HCP_{05}	2,8	x	x	x	x	x

Таблица 4.

Оценка влияния ФосАгро NPK и Гумитона на урожайность и содержание ^{137}Cs в клубнях картофеля, 2022 год

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка, %	Содержание ^{137}Cs в клубнях, Бк/кг	Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	Кп ^{137}Cs	Кратность снижения Кп ^{137}Cs , раз
ФосАгро NPK						
1. Фон – технология хозяйства (контроль)	27,0	–	6,5	135	0,048	–
2. Фон + ФосАгро NPK	33,0	22,2	9,2	145	0,063	–
Гумитон						
1. Фон + Гумитон	32,0	18,5	5,3	144	0,037	1,3
2. Фон + ФосАгро NPK + Гумитон	37,5	13,6	5,2	130	0,040	1,6
НСР ₀₅	3,5	х	х	х	х	х

(0,037...0,063) во всех вариантах опыта. По фону Гумитона с применением удобрения содержание ^{137}Cs в клубнях было минимальным – 7,2 Бк/кг, при кратности снижения 1,7 раза относительно варианта с внесением одного ФосАгро NPK.

Плотность загрязнения почвы во всех вариантах опыта варьирует от 196 до 376 кБк/м² (5,3...10,2 Ки/км²), содержание ^{137}Cs в клубнях – в 3,4...11,1 раза ниже нормативов СанПиН 2.3.2. 2650-10.

Совместное применение ФосАгро NPK и Гумитона способствовало повышению урожайности картофеля на 13,0 т/га или на 68,4% относительно контроля. Кп ^{137}Cs при этом снизился в 1,5 раза.

Опыт 2022 года.

По данным Новозыбковской метеостанции, с мая по август были благоприятные погодно-климатические условия. В мае выпало 64,4 мм осадков (среднегодовое значение – 54,1 мм), в июне и июле их количество соответствовало средним значениям, температура воздуха превышала норму на 1,4...1,9°C, в августе – 1,2°C, осадков выпало в 1,4 раза больше, по сравнению со среднегодовыми значениями. [18]

Урожайность картофеля по фону ФосАгро NPK без применения Гумитона повысилась на 6,0 т/га (22,2%), по сравнению с контролем (табл. 4). При использовании Гумитона на почве без удобрений урожайность увеличилась на 5,0 т/га (18,5%) относительно контроля. Урожайность клубней с внесением ФосАгро NPK и Гумитона составила 37,5 т/га, что на 13,6% больше, по сравнению с применением одного ФосАгро NPK и на 10,5 т/га (38,9%), по сравнению с контролем.

Плотность загрязнения почвы по всем вариантам опыта варьирует от 130 до 145 кБк/м² (3,5...3,9 Ки/км²). В клубнях картофеля содержание ^{137}Cs при внесении ФосАгро NPK имело максимальное значение 9,2 Бк/кг, но при обработке растений Гумитоном снизилось до 5,2 Бк/кг. Влияние Гумитона проявилось в уменьшении содержания ^{137}Cs в клубнях на 1,2 Бк/кг относительно контрольного варианта (6,5 Бк/кг).

При совместном применении Гумитона и ФосАгро NPK кратность снижения Кп ^{137}Cs составила 1,6 раза, одного Гумитона – 1,3 раза, по отношению к контролю.

Совместное использование ФосАгро NPK и Гумитона способствовало увеличению урожайности клубней на 10,5 т/га (38,9%), по сравнению с контролем. Кп ^{137}Cs при этом снизился в 1,2 раза.

Таким образом, применение органоминерального комплекса Гумитон увеличивало урожайность

картофеля на 17,3...31,5%. При использовании ФосАгро NPK и Гумитона продуктивность была выше на 12...19%, чем с одним Гумитоном. Совместное действие ФосАгро NPK и Гумитона способствовало увеличению урожая клубней на 37...68%, по сравнению с контролем. Кп ^{137}Cs при этом снизился в 1,2...3,4 раза.

Кратность уменьшения поступления ^{137}Cs в клубни при обработке посадок органоминеральным комплексом – до 1,3...6,4 раза, по отношению к контролю, Гумитон + ФосАгро NPK – 1,6...3,4 раза, по сравнению с препаратом (содержание ^{137}Cs в клубнях, соответствует санитарно-гигиеническим нормативам).

Таким образом, органоминеральный комплекс Гумитон и удобрение ФосАгро NPK эффективны в технологиях возделывания картофеля на радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых почвах как отдельно, так и при совместном действии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексахин Р.М., Лунев М.И. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. № 3. С. 32–35.
2. Барковская Т.А., Гладышева О.В. Биологическая эффективность применения препарата гуминовой природы в технологиях возделывания яровой пшеницы // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 26–30.
3. Белоус Н.М., Прудников П.В., Щеглов А.М. и др. Вероятность получения молока и кормов, не соответствующих допустимым уровням содержания ^{137}Cs на территории юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2019. Т. 28. № 3. С. 36–6.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 336 с.
5. Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е. и др. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 1. С. 25–35.
6. Патент на изобретение № 2709737 «Биологически активный органоминеральный комплекс и способ его получения» (авторы – Санжарова Н.И., Петров К.В., Ратников А.Н. и др.). Описание изобретения к патенту. Бюл. № 35. 19.12.2019. 6 с.
7. Прудников П.В., Пашковский А.А., Лелянова Е.Н. Агроэкологическая характеристика почв, экономическая

- эффективность применения средств химизации и новых комплексных удобрений в Брянской области // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 11. С. 10–20
8. Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Санжарова Н.И., Суслов А.А. Повышение продуктивности и качества картофеля при использовании нового органоминерального комплекса Гумитон на радиоактивно загрязненных почвах РФ // Мат. Межд. науч.-практ. конф. «Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2021. П76. ISBN 978-601-223-388-9. Т. 1. С. 183–187.
 9. Санжарова Н.И., Фесенко С.В. Радиоэкологические последствия аварии на чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий. М.: РАН, 2018. 278 с.
 10. Суслов А.А., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г. и др. Органоминеральный комплекс Гумитон как элемент адаптивной технологии возделывании озимой пшеницы в Брянской области // Агрехимический вестник. 2020. № 4. С. 24–29.
 11. Суслов А.А., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г. и др. Применение нового органоминерального комплекса Гумитон при возделывании кукурузы на серых лесных почвах Брянской области // Плодородие. 2020. № 1 (112). С. 21–23.
 12. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.И., Шубина О.А. Авария на Чернобыльской АЭС: защитные реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 261–276.
 13. Ханиева Е.М., Бозиёв А.Л., Кашукоев М.В. и др. Эффективность применения агрохимиката Амалгерол эссенс на картофеле // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 4. С. 25–28.
 14. Чернышева Н.В., Барчукова А.Я., Тосунов Я.К., Ладатко В.А. Эффективность агрохимиката Аминоким марки Амифорт в технологиях возделывания риса // Плодородие. 2021. № 1. С. 13–16.
 15. Электронный ресурс: <https://www.phosagro.ru/production/fertilizer/azotno-fosforno-kalijnye-udobreniya/169553/>. Date of access 15.01.2024.
 16. Электронный ресурс: <https://dacha-dacha.ru/sorta/yachmen-yarovoj/vladimir>. Date of access 15.01.2024.
 17. Электронный ресурс: <https://stroy-podskazka.ru/kartofel/sorta/ledi-kler>. Date of access 15.01.2024.
 18. Электронный ресурс: https://nowohistory.ru/w/Климат_Новозыбкова_v_2021_году. Date of access 15.01.2024.
- rii yugo-zapada Bryanskoj oblasti v otdalennyj period posle avarii na Chernobyl'skoj AES // Radiaciya i risk. 2019. Т. 28. № 3. С. 36–46.
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos, 1985. 336 s.
 5. Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E. i dr. Radioekologicheskaya ocenka sel'skohozyajstvennyh zemel' i produkcii yugo-zapadnyh rajonov Bryanskoj oblasti, zagryaznennyh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AES // Radiacionnaya gigiena. 2019. Т. 12. № 1. С. 25–35.
 6. Patent na izobretenie № 2709737 «Biologicheskij aktivnyj organomineral'nyj kompleks i sposob ego polucheniya» (avtory – Sanzharova N.I., Petrov K.V., Ratnikov A.N. i dr.). Opisanie izobreteniya k patentu. Byul. № 35. 19.12.2019. 6 s.
 7. Prudnikov P.V., Pashkovskij A.A., Lelyanova E.N. Agroekologicheskaya harakteristika pochv, ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya sredstv himizacii i novyh kompleksnyh udobrenij v Bryanskoj oblasti // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. Т. 36. № 11. С. 10–20
 8. Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Sanzharova N.I., Suslov A.A. Povyshenie produktivnosti i kachestva kartofelya pri ispol'zovanii novogo organomineral'nogo kompleksa Gumiton na radioaktivno zagryaznennyh pochvah RF // Мат. Mezhd. nauch.-prakt. конф. «Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2021. П76. ISBN 978-601-223-388-9. Т. 1. С. 183–187.
 9. Sanzharova N.I., Fesenko S.V. Radioekologicheskije posledstviya avarii na chernobyl'skoj AES: biologicheskije efekty, migraciya, reabilitaciya zagryaznennyh territorij. M.: RAN, 2018. 278 s.
 10. Suslov A.A., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G. i dr. Organomineral'nyj kompleks Gumiton kak element adaptivnoj tekhnologii vozdelvaniya ozimoy pshenicy v Bryanskoj oblasti // Агрехимический вестник. 2020. № 4. С. 24–29.
 11. Suslov A.A., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G. i dr. Primenenie novogo organo-mineral'nogo kompleksa Gumiton pri vozdelvanii kukuruzy na seryh lesnyh pochvah Bryanskoj oblasti // Plodorodie. 2020. № 1 (112). С. 21–23.
 12. Fesenko S.V., Sanzharova N.I., Isamov N.I., Shubina O.A. Avariya na Chernobyl'skoj AES: zashchitnye reabilitacionnye meropriyatiya v sel'skom hozyajstve // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2021. Т. 61. № 3. С. 261–276.
 13. Hanieva E.M., Boziev A.L., Kashukoev M.V. i dr. Effektivnost' primeneniya agrohimiakata Amalgerol essens na kartofele // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2023. № 4. С. 25–28
 14. Chernysheva N.V., Barchukova A.Ya., Tosunov Ya.K., Ladatko V.A. Effektivnost' agrohimiakata Aminokim marki Amifort v tekhnologiyah vozdelvaniya risa // Plodorodie. 2021. № 1. С. 13–16.
 15. Elektronnyj resurs: <https://www.phosagro.ru/production/fertilizer/azotno-fosforno-kalijnye-udobreniya/169553/>. Date of access 15.01.2024.
 16. Elektronnyj resurs: <https://dacha-dacha.ru/sorta/yachmen-yarovoj/vladimir>. Date of access 15.01.2024.
 17. Elektronnyj resurs: <https://stroy-podskazka.ru/kartofel/sorta/ledi-kler>. Date of access 15.01.2024.
 18. Elektronnyj resurs: https://nowohistory.ru/w/Климат_Новозыбкова_v_2021_году. Date of access 15.01.2024.

REFERENCES

1. Aleksahin R.M., Lunev M.I. Tekhnogennoe zagryaznenie sel'skohozyajstvennyh ugodij (issledovaniya, kontrol' i reabilitaciya territorij) // Plodorodie. 2011. № 3. С. 32–35.
2. Barkovskaya T.A., Gladysheva O.V. Biologicheskaya effektivnost' primeneniya preparata guminovoj prirody v tekhnologii vozdelvaniya yarovoj pshenicy // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2021. № 2. С. 26–30.
3. Belous N.M., Prudnikov P.V., Shcheglov A.M. i dr. Veroyatnost' polucheniya moloka i kormov, ne sootvetstvuyushchih dopustimym urovnjam sodержaniya 137Cs na territo-

Поступила в редакцию 07.02.2024
Принята к публикации 21.02.2024

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ NO-TILL В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Евгений Степанович Савченко¹, член-корреспондент РАН

Сергей Викторович Лукин^{2,3}, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: 0000-0003-0986-9995

Михаил Викторович Сергеев⁴

¹Совет Федерации, г. Москва, Россия

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

³Центр агрохимической службы «Белгородский», г. Белгород, Россия

⁴ООО «Мясные Фермы – Искра», с. Яблоново, Корочанский р-н, Белгородская обл., Россия

E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Аннотация. Исследования проводили в лесостепной зоне Белгородской области на территории Корочанского района. Почвенный покров – черноземы типичные и выщелоченные. Цель работы – анализ основных итогов внедрения системы земледелия No-till на примере ООО «Мясные Фермы – Искра». В 2018–2022 годах в структуре посевных площадей преобладали озимая пшеница (24,5%) и подсолнечник (23,2%). Доля бобовых культур составляла 32,5%, в том числе сои – 20,0%. Органические удобрения в хозяйстве не использовали, средняя доза внесения минеральных – 66 кг д.в./га, что на 42,4% ниже, чем в среднем по Белгородской области. При системе No-till урожайность подсолнечника, сои, кукурузы на зерно и озимой пшеницы – 2,21, 1,65, 6,35 и 4,43 т/га соответственно (на 23,5, 20,7, 11,2, 10,9% ниже, чем в среднем по Белгородской области). Содержание органического вещества в пахотном слое почв увеличилось на 0,14%, подвижных форм фосфора и калия снизилось на 12 и 28 мг/кг соответственно, доля кислых почв сократилась на 8,7%. Количество подвижных форм серы и микроэлементов существенно не изменилось. Рентабельность растениеводства при использовании системы No-till – 82,3%, в 1,29 раза выше, чем в среднем по Белгородской области.

Ключевые слова: биологический азот, известкование, пестициды, прямой посев, рентабельность, система земледелия, удобрения, урожайность

EXPERIENCE IN IMPLEMENTATION OF NO-TILL FARMING SYSTEM IN THE BELGOROD REGION

E.S. Savchenko¹, Corresponding member of the RAS

S.V. Lukin^{2,3}, Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor

M.V. Sergeev⁴

¹Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation, Moscow, Russia

²Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

³Belgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, Russia

⁴LLC “Iskra – Meat Farms”, vill. Yablonovo, Korochan district, Belgorod region, Russia

E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Abstract. The research was conducted in a forest-steppe zone of the municipality of “Korochan district” (Belgorod region). Typical and leached chernozem constituted the two types of soils, that were studied. The goal was to evaluate the main results of introduction of the No-till farming system, following the example of LLC “Meat Farms – Iskra”. It was found out that on average, throughout the years of 2018–2022, winter wheat was the most regular (24.5%), alongside sunflower (23.2%). Legumes prevalence was at 32.5% with soy (20.0%). Organic fertilizer wasn't used in the process; however, the average dose of mineral fertilizers was 66 kg of the substance/ha, which is 42.4% lower than the average for Belgorod region. The usage of the system No-till yield the sunflower, soy and corn-beans, as well as winter wheat plantings corresponded to 2.21, 1.65, 6.35 and 4.43 t/ha, which is lower by 23.5, 20.7, 11.2, 10.9% when compared with the average throughout Belgorod region. The quantity of organic substances in the arable layer of the soil underwent an increase of 0,14%, the quantity of mobile forms of phosphorus and potassium went down by 12 and 28 mg/kg accordingly, the dose of acidic soils decreased by 8,7%. The amount of mobile forms of sulfur and microelements didn't particularly change. The profitability of crop production using the No-till system was 82.3%, which is 1.29 times higher than the average of the Belgorod region.

Keywords: biological nitrogen, liming, pesticide, direct seeding, profitability, farming system, fertilizer, yield

В последние годы активно внедряется минимизация почвообработки (периодическое применение прямого посева, переход на нулевую обработку). В нашей стране такой способ пока не получил научного обеспечения. [7]

В конце XIX века И.Е. Овсинский разработал и реализовал на практике технологию по выращиванию сельскохозяйственных культур без глубокой

вспашки. [10] В США и Канаде интерес к минимальным обработкам возник после пыльных бурь 1931–1935 годов, вызвавших развитие ветровой эрозии. Важным этапом в изучении и пропаганде этого направления стали работы Т.С. Мальцева, А.И. Бараева, Э. Фолкнера.

В середине 90-х годов прошлого века в Южной Америке из-за резкого повышения цен на энерго-

носители началось масштабное освоение системы нулевой обработки почвы. No-till (не вспахивать) – система земледелия, при которой почву в течение длительного времени не обрабатывают, ее поверхность укрывают мульчей, а посев проводят специальными сеялками. Переход от традиционных систем земледелия к No-till меняет структуру севооборотов, технологии внесения удобрений и защиты растений, требует использования специальной техники, в первую очередь, сеялок прямого сева. Сторонники системы считают, что главная цель ее внедрения – необходимость запустить естественные процессы восстановления плодородия почвы.

No-till успешно применяют на площади более 100 млн га в Канаде, США, Бразилии, Аргентине и других странах с развитым аграрным сектором. В России она пока не распространена, но интерес ученых и практиков к ней растет. Система пригодна не для всех почв и при ее освоении стоит жестко соблюдать технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Для успешного применения No-till нужно дифференцировать в зависимости от почвенно-климатических условий региона. Чаще всего ее внедряют в засушливых районах с малым количеством осадков (менее 300...400 мм/г).

В Белгородской области чаще проводят плоскорезные и минимальные обработки. В последнее время популярна технология прямого посева, особенно в звене севооборота соя – озимая пшеница. В 2016–2020 годах хозяйства приобрели 75 сеялок прямого сева, что составляет более трети объема закупок. В 2020 году прямой посев использовали на площади 335 тыс. га (23,5% общей посевной площади). Некоторые хозяйства полностью перешли на No-till.

Цель работы – проанализировать основные итоги внедрения системы земледелия No-till в лесостепной зоне Белгородской области на примере ООО «Мясные Фермы – Искра».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предприятие ООО «Мясные Фермы – Искра» находится в лесостепной зоне Корочанского района Белгородской области. Землепользование на 2022 год – 10,6 тыс. га сельскохозяйственных угодий (9,5 тыс. га – пашни, 1,1 тыс. га – пастбища). Поверхность территории изрезана овражно-балочной сетью, коэффициент горизонтального расчленения – около 1,0...1,2 км/км². На склонах крутизной до 3° – 73,7% пашни, 3...5° – 20,3, более 5° – 6,0%. В почвенном покрове преобладают черноземы типичные (54%), из которых эродированы 12,8% и черноземы выщелоченные (33,1%), доля эродированных – 8,9%. В хозяйстве применяют пастбищное содержание мясных пород КРС (2260 гол.) на площади 1133 га. Систему земледелия No-till внедряют с 2009 года.

Гидротермические условия в лесостепной зоне (2018–2022 годы) были благоприятными для развития сельскохозяйственных культур. Среднегодовое количество осадков изменялось в пределах 441,1...762,0 мм (среднее – 554 мм), что практически совпадает со среднегодовым значением (555 мм). Количество выпавших осадков за апрель–

сентябрь в 2018–2019 годах – 223,1...276,7 мм (среднегодовое – 309 мм) (табл. 1). Среднегодовая температура воздуха соответствовала климатической норме (7,7°C) только в 2018 году, в остальные была на 0,7...1,9°C выше (табл. 2). [14]

В работе использованы опубликованные материалы Белгородстата о посевных площадях, валовых сборах, урожайности сельскохозяйственных культур и применении удобрений за 2018–2022 годы на территории Белгородской области, а также данные сплошного агрохимического обследования, выполненного ФГБУ «ЦАС «Белгородский».

Результаты обрабатывали автоматически с помощью программного комплекса ГИС «Агроэколог Онлайн». [15, 16] Содержание подвижных форм фосфора и калия в почвах определяли по методу Чирикова, остальные показатели плодородия почв – по общепринятым в агрохимической службе методикам. [13]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвы хозяйства подходят для внедрения No-till, так как равновесная плотность черноземов типичных и выщелоченных в слое 10...20 см в их естественном состоянии (участок «Ямская степь» заповедника «Белогорье») находится на уровне 1,1 г/см³, что считается одним из необходимых условий для системы.

Структура посевных площадей сильно изменялась по годам исследований, что связано как с конъюнктурой аграрного рынка, так и поиском наиболее подходящих культур для возделывания в системе No-till (табл. 3). Например, в 2018 и 2019 годах выращивали белый люпин, но из-за отсутствия эффективной системы защиты в даль-

Таблица 1.
Динамика суммы осадков (метеостанция Новый Оскол), мм

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма за год
2018	33,5	44,4	6,4	149,0	2,7	30,1	574,0
2019	13,6	31,2	24,6	64,7	10,8	89,0	441,1
2020	8,8	78,0	35,4	74,9	24,2	1,8	467,4
2021	56,1	68,3	68,9	33,7	25,1	24,6	526,6
2022	47,7	59,3	76,7	101,1	44,7	100,6	762,0
*Среднее	39	48	67	64	44	47	555

Примечание. * – среднегодовые данные за 1990–2020 годы. То же в табл. 2.

Таблица 2.
Динамика средней температуры воздуха (метеостанция Новый Оскол), °C

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Средняя за год
2018	9,5	17,7	19,3	21,8	20,6	16,8	7,7
2019	9,7	17,2	22,4	19,4	19,5	14,5	9,2
2020	7,7	13,2	22,1	22,1	19,8	16,8	9,6
2021	8,2	15,7	20,6	23,4	23,2	12,5	8,4
2022	11,2	12,5	20,2	20,8	23,3	12,2	8,5
*Среднее	8,9	15,4	19,3	21,2	19,9	14,0	7,7

нейшем его не использовали. С 2021 года большие площади занимает рентабельная и перспективная для области культура – лен масличный (урожайность в 2021 году – 1,3 т/га).

В среднем за 2018–2022 годы основные посевные площади были заняты под озимой пшеницей (24,5%) и подсолнечником (23,2%). Доля бобовых культур в структуре посевных площадей по годам изменялась от 16,5 до 43, 5% (среднее – 32,5%), в том числе сои – 20,0%. Накопление симбиотически связанного азота по годам варьировало от 11,1 до 35,9 кг/га (среднее – 20,2 кг/га). Наибольший вклад в увеличение его содержания вносила соя – 69,3%. После уборки озимой пшеницы и тритикале в качестве сидератов высевали смесь бобовых и злаковых культур.

Отсутствие механической обработки почвы при No-till существенно изменяет технологию химической мелиорации и внесения минеральных удобрений. Первую целесообразнее проводить при подготовке полей. В этот же период с помощью фосфорных и калийных удобрений можно сформировать высокий уровень обеспеченности почвы подвижными формами этих элементов. Если такой возможности нет, то химическую мелиорацию, в частности известкование, необходимо осуществлять невысокими объемами (не более ¼ полной дозы, рассчитанной по величине гидролитической кислотности). Такую технологию использовали в ООО «Мясные Фермы – Искра». В качестве мелиоранта брали мел – 1...2 т/га. Известкование привело к снижению доли кислых почв на 8,7% и средневзвешенной величины гидролитической кислотности на 0,2 ммоль/100 г (табл. 4).

В среднем за 2018–2022 годы в Белгородской области внесли 9,5 т/га органических и 114,5 кг/га минеральных удобрений. Доли азота, фосфора и калия – 65,3, 16,5 и 18,2% соответственно. В ООО «Мясные Фермы – Искра» использовали только минеральные удобрения в дозе 66 кг/га, в том числе: азот – 46 кг/га, фосфор и калий – по 10 кг/га посевной площади. По системе No-till фосфорные и калийные удобрения вносят в рядки при посеве, но такой способ не обеспечивает высокого урожая и поддержания плодородия почв.

В почвах содержание подвижного фосфора снизилось на 12, калия – 28 мг/кг. Если установленный средний уровень насыщения почв подвижным калием (130 мг/кг) по агрохимическим нормативам считается высоким, то содержание подвижного фосфора (53 мг/кг) приблизилось к уровню низкой обеспеченности (21...50 мг/кг). Основная причина уменьшения содержания подвижных форм калия и фосфора в почвах – их малое поступление с удобрениями. Кроме того, подвижность фосфатов в почвах существенно снижается при их известковании. В целинных черноземах типичных и выщелоченных фоновое содержание подвижных форм фосфора составляет 24...28, калия – 101...105 мг/кг, что меньше, чем в изучаемых почвах.

Для увеличения содержания подвижного фосфора на 10 мг/кг, необходимо 70...100 кг/га P_2O_5 . Рекомендуются дополнительный проход сеялки, оборудованной приспособлением для внесения

Таблица 3.

**Структура посевных площадей
в ООО «Мясные Фермы – Искра» по годам**

Культура	2018	2019	2020	2021	2022	2018–2022
Озимая пшеница	29,6	20,4	40,7	16,2	15,5	24,5
Озимая тритикале	4,4	0,0	0,5	1,0	1,0	1,4
Яровая тритикале	1,6	0,0	0,1	6,9	0,0	1,7
Яровой ячмень	0,0	0,0	0,0	0,5	2,9	0,7
Подсолнечник	24,7	27,0	18,0	21,6	24,7	23,2
Лен масличный	0,0	0,0	0,0	16,1	28,9	9,0
Просо	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,04
Кукуруза на зерно	0,0	1,2	1,3	1,0	1,8	1,06
Кукуруза на силос	2,3	2,0	1,8	2,1	5,7	2,8
Сидеральный пар	3,3	5,5	0,0	3,7	3,0	3,1
Бобовые						
Вика	1,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,5
Соя	12,9	37,4	22,3	16,1	11,3	20,0
Люпин белый	6,7	0,4	0,0	0,0	0,0	1,42
Чечевица	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
Многолетние травы посева прошлых лет	8,3	5,5	15,4	13,1	4,7	9,4
Многолетние травы посева текущего года	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,04
Однолетние травы на зеленый корм	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,04
Всего бобовых	34,1	43,5	37,7	30,6	16,5	32,5

Таблица 4.

**Динамика агрохимических показателей
в слое почв 0...25 см по годам**

Показатель	2018	2022	Отклонение, 2022/2018	
Доля кислых почв, % площади	32,8	24,1	-8,7	
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	2,99	2,79	-0,2	
$pH_{кис}$	5,74	5,82	0,08	
Содержание органического вещества, %	5,54	5,68	0,14	
P_2O_5	65	53	-12	
K_2O	158	130	-28	
S	2,30	2,20	-0,1	
Средневзвешенное содержание подвижных форм, мг/кг	Zn	0,40	0,40	0
	Mn	12,7	11,7	-1,0
	Cu	0,114	0,120	0,006
	Co	0,072	0,074	0,002
	Mo	-	0,12	-

удобрений, или использование ликвилайзера (инжектор жидких минеральных удобрений). [8] Поверхностное внесение удобрений, содержащих фосфор и калий, считается неэффективным.

Многие исследователи отмечают, что система No-till способствует повышению содержания в почве органического вещества из-за большого количества растительных остатков и снижения минерализации гумуса. Например, в условиях Ростовской области на черноземах южных установлено такое увеличение на 0,12...0,75% при многолетнем применении No-till, по сравнению с традиционной технологией, на черноземах обыкновенных – 0,72%. [6, 9] В наших исследованиях на черноземах типичных

и выщелоченных содержание органического вещества увеличилось за четыре года в среднем на 0,14%.

Количество в почвах подвижных форм серы и микроэлементов за период наблюдения значительно не изменилось. По данным обследования, в 2022 году средневзвешенное содержание в почвах подвижных форм серы (2,20 мг/кг), цинка (0,40), меди (0,12) и кобальта (0,074) соответствует низкому уровню обеспеченности, марганца (11,7) и молибдена (0,12 мг/кг) – среднему. Данная закономерность характерна для пахотных почв Белгородской области.

Есть работы, свидетельствующие о более низкой урожайности сельскохозяйственных культур при использовании системы No-till, по сравнению с традиционными. Но много зависит от почвенно-климатических условий, особенностей культур и корректности проведения опытов. Например, на черноземах обыкновенных Ставропольского края наибольшая урожайность озимой пшеницы была с No-till, выщелоченных – при вспашке. [1] В приазовской зоне Ростовской области на черноземах обыкновенных урожайность яровой пшеницы и подсолнечника была выше на 29,3 и 41,4% соответственно при No-till, по сравнению с традиционной системой, озимой пшеницы – ниже. [3–5] На черноземах обыкновенных ЗАО имени С.М. Кирова Песчанокопского района Ростовской области с применением системы No-till урожайность сельскохозяйственных культур была значительно выше, чем при традиционной технологии возделывания. [9]

В производственных условиях сложно сравнивать влияние различных систем земледелия на урожайность сельскохозяйственных культур. В ООО «Мясные Фермы – Искра» средняя урожайность озимой пшеницы, сои, подсолнечника, кукурузы на зерно и силос за изучаемые годы была ниже, чем в среднем по Белгородской области, на 10,9, 20,7, 23,5, 11,2, 9,2% соответственно, сена многолетних трав – на 15% выше (табл. 5). Основная причина этого в более высоком уровне использования минеральных и органических удобрений. Преимущество системы No-till, связанные с большим накоплением влаги, по сравнению с традиционными системами земледелия в лесостепной зоне, в меньшей степени сказываются на величине урожайности, чем в более засушливой степной.

Таблица 5.
Средняя урожайность основных сельскохозяйственных культур за 2018–2022 годы, т/га

Культура	ООО «Мясные Фермы – Искра»	Белгородская область	Отклонение	
			т/га	%
Озимая пшеница	4,43	4,97	-0,54	-10,9
*Кукуруза на зерно	6,35	7,15	-0,80	-11,2
Соя	1,65	2,08	-0,43	-20,7
Подсолнечник	2,21	2,89	-0,68	-23,5
Кукуруза на силос	22,6	24,9	-2,3	-9,2
Многолетние травы на сено	3,29	2,86	0,43	15,0

Примечание. * – среднее за 2019–2022 годы (в 2018 году в ООО «Мясные Фермы – Искра» кукурузу на зерно не возделывали).

Одна из основных агроэкологических проблем в Белгородской области – водная эрозия почв. По данным второго тура почвенного обследования, доля фактически эродированных пахотных почв в области – 47%. [7] Внедрение No-till позволяет эффективно защищать почвы от проявления эрозионных процессов. [2] Но в условиях сильно расчлененного рельефа в отдельные годы развивалась линейная эрозия. Поэтому для ее предотвращения потребовалось проектирование и строительство простейших гидротехнических сооружений.

Недостатки системы No-till – увеличение засоренности, накопление в верхних слоях почвы патогенов и вредителей. Эффективная защита сельскохозяйственных культур включает применение пестицидов. Выбор их типа, времени зависит от конкретных фитосанитарных условий. В 2022 году в ООО «Мясные Фермы – Искра» при возделывании сельскохозяйственных культур в основном использовали стандартную для интенсивных технологий систему защиты растений. Например, на подсолнечнике применяли гербициды Пантера (0,8 л/га) и Экспресс (0,035 кг/га) совместно с поверхностно активным веществом (ПАВ) ЭТД-90 (0,2 л/га), кукурузе – Аминка Фло (0,5 л/га) и Грэнери (0,025 кг/га). При системе No-till вносят гербициды сплошного действия на основе солей глифосата перед посевом и после уборки культуры. Средний годовой расход гербицида сплошного действия Факел в хозяйстве составил 4,4 л/га.

Часто в качестве недостатков No-till отмечают существенное уплотнение почвы, по сравнению с традиционными системами. [11] Однако это вопрос неоднозначный. Стратегия поддержания плотности почвы в пределах равновесной при No-till в ООО «Мясные Фермы – Искра» заключается в подборе научно обоснованных севооборотов, установке на тракторы и комбайны сдвоенных колес и шин низкого давления, использовании техники на гусеничном ходу, применении технологической колеи, выгрузке зерна при уборке в бункеры накопители и другое. При соблюдении этих условий система No-till не приводит к уплотнению почв. Например, к такому выводу пришли исследователи, изучая разные технологии обработки почв в Ростовской области. [12]

Таким образом, в ООО «Мясные Фермы – Искра» при использовании системы No-till урожайность подсолнечника, сои, кукурузы на зерно и озимой пшеницы составляла 2,21, 1,65, 6,35 и 4,43 т/га соответственно, что на 23,5, 20,7, 11,2, 10,9% ниже, чем в среднем по Белгородской области. Содержание органического вещества в пахотном слое почв увеличилось на 0,14%, подвижных форм фосфора и калия снизилось на 12 и 28 мг/кг соответственно, доля кислых почв – на 8,7%. Количество подвижных форм серы и микроэлементов не изменилось.

При системе No-till повышается рентабельность. В среднем за 2018–2022 годы средняя рентабельность растениеводства в Белгородской области была достаточно высокая – 63,6%, но с No-till – на 18,7% (в 1,29 раза) выше, при возделывании подсолнечника – 90,4, в ООО «Мясные Фермы – Искра» – 121,1%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дридигер В.К., Стукалов Р.С., Матвеев А.Г. Влияние типа почвы и ее плотности на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // *Земледелие*. 2017. № 2. С. 19–22.
2. Дридигер В.К., Белобров В.П., Антонов С.А. и др. Защита почв от водной эрозии и дефляции в технологии No-till // *Земледелие*. 2020. № 6. С. 11–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10603.
3. Зеленская Г.М., Акимочкин А.А. Эффективность выращивания озимой пшеницы в зависимости от различных технологий обработки почвы // *Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства*: Мат. межд. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 7 февраля 2018 года. ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2018. С. 147–150.
4. Зеленская Г.М., Помазков Д.А., Поляков В.В. Влияние способов обработки почвы на продуктивность яровой пшеницы // *Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства*: Мат. Межд. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 7 февраля 2018 года. ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2018. С. 150–153.
5. Зеленский Н.А., Шуркин А.Ю. Влияние различных технологий возделывания на урожайность подсолнечника в приазовской зоне Ростовской области // *Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства*: Мат. Межд. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 7 февраля 2018 года. – пос. Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», 2018. С. 153–156.
6. Казеев К.Ш., Мокриков Г.В., Акименко Ю.В. и др. Влияние технологии No-till на экологическое состояние черноземов южных Ростовской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 1. С. 7–11. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10101.
7. Киришин В.И., Лукин С.В., Соловиченко В.Д., Мельников В.И. Белгородская модель адаптивно-ландшафтного земледелия. Белгород: Константа, 2019. 272 с.
8. Койнова А.Н. Технология No-till и ее техническое оснащение // *Агрофорум*. 2019. № 5. С. 24–29.
9. Медведева А.М., Бирюкова О.А. Плодородие чернозема обыкновенного при внедрении системы No-till // *Энтузиасты аграрной науки: Сб. статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина и 80-летию члена-корреспондента РАН Кудеярова Валерия Николаевича*, Краснодар, 5–6 сентября 2019 года / Ответственный за выпуск А.Х. Шеуджен. Вып. 21. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. С. 51–53.
10. Овсинский И.Е. Новая система земледелия. М.: Концептуал, 2023. 240 с.
11. Осауленко С.Н., Полоус В.С. Влияние способов и приемов основной обработки на влажность, плотность сложения почвы и урожайность гороха посевного // *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2021. № 2. С. 102–105.
12. Рыков В.Б. и др. Изменение плотности почвы при различных технологиях обработки почв // *Вестник АПК Ставрополя*. 2016. 1 (21). С. 38–43.
13. Сычев В.Г. и др. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
14. Электронный ресурс [https://meteoinfo.ru_\(дата_обращения_24.09.2023\)](https://meteoinfo.ru_(дата_обращения_24.09.2023)).
15. Malysheva E.S., Malyshev A.V., Kostin I.G. Complex Analysis of Data from Agrochemical and Soil-Erosion Monitoring Using Geoinformation Systems // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk*, 20–21.06.2021. Ussurijsk. P. 032070. doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070.
16. Malysheva E.S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring of soils // *Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» (FSRAABA 2021)*, Tyumen, 19–20.06.2021. Tyumen: EDP Sciences, 2021. P. 03016. EDN: FCSJYG.

REFERENCES

1. Dridiger V.K., Stukalov R.S., Matveev A.G. Vliyanie tipa pochvy i ee plotnosti na urozhajnost' ozimoy pshenicy, vozdel'yaemoy po tekhnologii No-till v zone neustojchivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraja // *Zemledelie*. 2017. № 2. S. 19–22.
2. Dridiger V.K., Belobrov V.P., Antonov S.A. i dr. Zashchita pochv ot vodnoj erozii i deflyacii v tekhnologii No-till // *Zemledelie*. 2020. № 6. S. 11–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10603.
3. Zelenskaya G.M., Akimochkin A.A. Effektivnost' vyrashchivaniya ozimoy pshenicy v zavisimosti ot razlichnyh tekhnologij obrabotki pochvy // *Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyah vozdel'vaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur i pererabotki produkcii rastenievodstva*: Mat. mezhd. nauch.-prakt. konf., pos. Persianovskij, 7 fevralya 2018 goda. FGBOU VPO «Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet», 2018. S. 147–150.
4. Zelenskaya G.M., Pomazkov D.A., Polyakov V.V. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy na produktivnost' yarovoj pshenicy // *Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyah vozdel'vaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur i pererabotki produkcii rastenievodstva*: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf., pos. Persianovskij, 7 fevralya 2018 goda. FGBOU VPO «Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet», 2018. S. 150–153.
5. Zelenskij N.A., Shurkin A.Yu. Vliyanie razlichnyh tekhnologij vozdel'vaniya na urozhajnost' podsolnechnika v priazovskoj zone Rostovskoj oblasti // *Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyah vozdel'vaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur i pererabotki produkcii rastenievodstva*: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf., pos. Persianovskij, 7 fevralya 2018 goda. – pos. Persianovskij: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet», 2018. S. 153–156.
6. Kazeev K.Sh., Mokrikov G.V., Akimenko Yu.V. i dr. Vliyanie tekhnologii No-till na ekologicheskoe sostoyanie

- chernozemov yuznyh Rostovskoj oblasti // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34. № 1. S. 7–11. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10101.
7. Kiryushin V.I., Lukin S.V., Solovichenko V.D., Mel'nikov V.I. Belgorodskaya model' adaptivno-landshaftnogo zemledeliya. Belgorod: Konstanta, 2019. 272 s.
 8. Kojnova A.N. Tekhnologiya No-till i ee tekhnicheskoe osnashchenie // Agroforum. 2019. № 5. S. 24–29.
 9. Medvedeva A.M., Biryukova O.A. Plodorodie chernozema obyknovennogo pri vnedrenii sistemy No-till // Entuziasty agrarnoj nauki: Sb. statej po materialam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu kafedry pochvovedeniya Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni I.T. Trubilina i 80-letiyu chlena-korrespondenta RAN Kudeyarova Valeriya Nikolaevicha, Krasnodar, 5–6 sentyabrya 2019 goda / Otvetstvennyj za vypusk A.H. Sheudzhen. Vyp. 21. Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2019. S. 51–53.
 10. Ovsinskij I.E. Novaya sistema zemledeliya. M.: Konceptual, 2023. 240 s.
 11. Osaulenko S.N., Polous V.S. Vliyanie sposobov i priemov osnovnoj obrabotki na vlazhnost', plotnost' slozheniya pochvy i urozhajnost' goroha posevnogo // Agropro-myshlennye tekhnologii Central'noj Rossii. 2021. № 2. S. 102–105.
 12. Rykov V.B. i dr. Izmenenie plotnosti pochvy pri razlichnyh tekhnologiyah obrabotki pochv // Vestnik APK Stavropol'ya. 2016. 1 (21). S. 38–43.
 13. Sychev V.G. i dr. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel'sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M: FGNU «Rosinformagrotekh», 2003. 240 s.
 14. Elektronnyj resurs <https://meteoinfo.ru> (data obrashcheniya 24.09.2023).
 15. Malysheva E.S., Malyshev A.V., Kostin I.G. Complex Analysis of Data from Agrochemical and Soil-Erosion Monitoring Using Geoinformation Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21.06.2021. Ussurijsk. P. 032070. doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070.
 16. Malysheva E.S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring of soils // Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» (FSRAABA 2021), Tyumen, 19–20.06.2021. Tyumen: EDP Sciences, 2021. P. 03016. EDN: FCSJYG.

Поступила в редакцию 31.01.2024

Принята к публикации 14.02.2024

ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВОГРУНТОВ

Дмитрий Андреевич Соловьев, кандидат сельскохозяйственных наук
Наталья Викторовна Фомичева, кандидат биологических наук
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Россия
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Аннотация. Фитотестирование используют для экологического мониторинга почвенных объектов. Цель работы – оценить фитотестирование для определения качества искусственно созданных почвогрунтов. Исследовали два образца: Почвогрунт 1 с осадками сточных вод и Почвогрунт 2 с котлованным грунтом, небольшим количеством торфа и сапропеля. Контроль – почва, обеспечивающая свободный рост тест-культур в естественных условиях определенной почвенно-климатической зоны, куда планируется поставлять готовый почвогрунт. Испытания проводили с семенами трех видов тест-растений: однодольное – овес (*Avena sativa*) и два двудольных – горчица белая (*Sinapis alba*), клевер белый ползучий (*Trifolium repens*). Высевали в контейнеры с почвой/почвогрунтом и помещали в климатостат на 14 дней (днем – 20°C, ночью – 15°C). Установили, что в Почвогрунте 1 все исследуемые биометрические показатели овса и горчицы белой статистически значимо выше, чем в контрольной почве, а развитие клевера белого ползучего угнетено (сырая масса в 8,9 и 2,1 раза меньше, по сравнению с контрольной почвой, соответственно для норм высева 10 и 30 г/м²). Параллельно в Почвогрунте 1 выявили превышение содержания валовых форм цинка в 2,5 и меди в 1,4 раза. При испытании Почвогрунта 2 биометрические показатели овса и горчицы белой были на уровне контроля, сырая и сухая масса ростков клевера – соответственно в 2,9 и 1,7 раза выше. Фитотестирование можно рассматривать как качественную реакцию исследуемого почвогрунта на растения и интегральный показатель его плодородия. Обязательное условие – использование тест-растений с мелкими семенами. Это позволяет оценить их реакцию на стимулирующие и токсичные компоненты грунта.
Ключевые слова: фитотестирование, почвогрунт, тест-растения, биометрические показатели, осадки сточных вод, тяжелые металлы, сапропель

PHYTOTESTING AS A METHOD FOR SOIL QUALITY ASSESSING

D.A. Soloviev, *PhD in Agricultural Sciences*
N.V. Fomicheva, *PhD in Biological Sciences*
FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Abstract. Phytotesting is used for environmental monitoring of soil objects. The purpose of the work is to evaluate phytotesting to determine the quality of artificially created soils. Two samples were examined: Soil 1 with sewage sludge and Soil 2 with pit soil, a small amount of peat and sapropel. Control is soil that ensures free growth of test crops in the natural conditions of a certain soil-climatic zone where it is planned to supply the finished soil. Tests were carried out with seeds of three types of test plants: a monocot – oats (*Avena sativa*) and two dicotyledons – white mustard (*Sinapis alba*), creeping white clover (*Trifolium repens*). They were sown in containers with soil/ground and placed in a climate control system for 14 days (daytime – 20°C, night – 15°C). It was found that in Soil 1 all the studied biometric indicators of oats and white mustard are statistically significantly higher than in the control soil, and the development of creeping white clover is suppressed (wet weight is 8.9 and 2.1 times less compared to the control soil, respectively for seeding rates 10 and 30 g/m²). At the same time, in Soil 1, an excess of the content of gross forms of zinc by 2.5 and copper by 1.4 times was revealed. When testing Soil 2, the biometric indicators of oats and white mustard were at the control level, the wet and dry weight of clover sprouts was 2.9 and 1.7 times higher, respectively. Phytotesting can be considered as a qualitative reaction of the studied soil to plants and an integral indicator of its fertility. A prerequisite is the use of test plants with small seeds. This will allow us to evaluate their response to stimulating and toxic soil components.

Keywords: phytotesting, soil, test plants, biometric indicators, sewage sludge, heavy metals, sapropel

Важное место при формировании комфортной среды обитания человека в городских условиях занимают зеленые насаждения. Для проведения озеленительных и ландшафтно-проектировочных работ по созданию газонов, клумб, посадке цветов, деревьев и кустарников используют различные искусственные почвогрунты заводского изготовления, питательные грунты. Средний расход качественного грунта на 1 га озеленяемой территории в условиях городской среды – 2,0 тыс. м³, посадку одного дерева, имеющего земляной ком размером 1×1×0,6 м, – 2,28 м³ при 100% замене земли. [1, 4]

Универсальной рецептуры почвогрунтов не существует. Производители применяют различные

компоненты: верховой или низинный торф, окультуренную почву, котлованные грунты, древесные отходы, опавшие листья, речной песок, глину, биокомпосты, в том числе на основе осадков сточных вод, солому, сапропели и другое. Указанные компоненты и грунты на их основе неоднородны по происхождению, составу и качеству. Степень их пригодности для нормального роста и развития растений разнообразна. [11]

Контроль производства почвогрунтов должен осуществляться в соответствии с ГОСТ 53381-2009 «Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия», а также (в случае их применения на территории г. Москвы) согласно Постановления

Правительства Москвы № 514-ПП от 27.07.2004 (с изменениями на 25 октября 2011 года) «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» (далее Постановление № 514-ПП), в которых к почвогрунтам и всем их компонентам предъявляют определенные требования. Оценка качества готового почвогрунта включает физические, санитарно-гигиенические показатели, а также определение содержания элементов питания растений, токсинов и прочее. В этих условиях важно выбрать метод, позволяющий оперативно, достоверно и без больших затрат провести интегральную оценку. На наш взгляд, этим требованиям отвечает фитотестирование. Оно может дать предварительную или дополнительную информацию о качестве почвогрунта, предназначенного для создания газонов, клумб, посадки цветов, деревьев и кустарников.

Фитотесты очень востребованы, поскольку почвы и грунты — естественная среда обитания высших растений. [5, 8] Существует несколько методов и способов фитотестирования, в основе которых оценка параметров прорастания семян тест-растения. [9] В Российской Федерации применяют следующие стандартизированные методы фитотестирования: МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности (Фитотест)»; ФР.1.39.2006.02264 «Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв» и ФР.1.31.2012.11560 «Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования (Фитоскан)». Метод фитотестирования предназначен для оценки качества почв согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» и ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений». На практике метод широко используют для экологического мониторинга почвенных объектов и установления токсичного влияния того или иного поллютанта. [6, 12–14]

Фитотестирование можно применять для суммарной оценки качества грунта, степени его обогащенности доступными макро- и микроэлементами, а также как интегральный показатель на этапе составления рецептур при изготовлении нового почвогрунта.

Цель работы — оценить возможность использования фитотестирования для определения качества искусственно созданных почвогрунтов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мы провели фитотестирование образцов Почвогрунта 1 (с осадками сточных вод) и Почвогрунта 2 (с котлованным грунтом, небольшим количеством торфа и сапропеля), производители которых планировали их применение для озеленения Москвы и Московской области. Для сопоставления результатов фитотестирования исследуемых образцов с их питательной ценностью установили показатели плодородия:

Почвогрунт 1: $pH_{KCl} - 6,73$ (ГОСТ 26483), массовая доля органического вещества — 10,8% (ГОСТ 26213), $P_2O_5 - 605$ мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650), $K_2O - 182$ мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650);

Почвогрунт 2: $pH_{KCl} - 7,50$, массовая доля органического вещества — 4,14%, $P_2O_5 - 20,1$ мг/кг, $K_2O - 68,1$ мг/кг (по Мачигину, ГОСТ 26205).

Образец Почвогрунта 1 из-за наличия в нем осадков сточных вод был сдан в Испытательный лабораторный центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (номер записи об аккредитации в РАЛ № RA.RU.21HE32) для определения содержания валовых форм тяжелых металлов.

Фитотестирование почвогрунтов целесообразнее проводить непосредственно в тестируемом образце (твердая фаза), поскольку у растений в этом случае более чувствительная реакция и результаты будут точнее, чем при оценке почвенных вытяжек.

Для оценки токсичности почв в качестве контрольной рекомендуется использовать референтную или искусственную почву, состоящую из торфа, каолиновой глины и кварцевого песка, а также стандартную, максимально близкую по всем параметрам к исследуемой. При оценке искусственных почвогрунтов для сравнения целесообразно выбрать почву, обеспечивающую свободный рост тест-культур в естественных условиях определенной почвенно-климатической зоны, куда планируется поставлять готовый почвогрунт. Мы взяли дерново-подзолистую легкосуглинистую почву (контроль): $pH_{KCl} - 5,41$; содержание органического вещества — 2,43%, $P_2O_5 - 182,5$ мг/кг, $K_2O - 61,3$ мг/кг.

Обычно одновременно используют, как минимум, по одному однодольному и двудольному тест-растению с учетом зонального подхода. [7] Испытания проводили с семенами трех видов растений:

Таблица 1.
Всхожесть и биометрические показатели тест-растений овса и горчицы белой, выращенных в Почвогрунте 1

Вариант	Всхожесть, %	Средняя длина, см		Средняя сырая масса, 10^{-2} г		Средняя сухая масса, 10^{-3} г	
		росток	корневая система	росток	корневая система	росток	корневая система
Овес							
Почвогрунт 1	$97,6 \pm 1,3$	$17,7 \pm 0,26^*$	$13,6 \pm 0,31^*$	$12,7 \pm 0,36^*$	$9,1 \pm 0,27^*$	$10,8 \pm 0,25^*$	$5,9 \pm 0,23^*$
Контроль	$98,8 \pm 0,6$	$14,9 \pm 0,34$	$12,4 \pm 0,05$	$8,8 \pm 0,32$	$7,6 \pm 0,26$	$9,0 \pm 0,10$	$6,6 \pm 0,08$
Горчица белая							
Почвогрунт 1	$96,7 \pm 1,3^*$	$6,4 \pm 0,31$	$5,8 \pm 0,41^*$	$15,9 \pm 0,65^*$	$2,3 \pm 0,11^*$	$6,7 \pm 0,13^*$	$1,7 \pm 0,05$
Контроль	$89,0 \pm 1,0$	$6,3 \pm 0,19$	$8,1 \pm 0,45$	$7,8 \pm 0,07$	$1,3 \pm 0,07$	$5,0 \pm 0,10$	$1,5 \pm 0,08$

Примечание: * — различия значимы при $p < 0,05$. То же в таблицах 2-4.

однодольное — овес (*Avena sativa*), двудольные — горчица белая (*Sinapis alba*) и клевер белый ползучий (*Trifolium repens*), который часто применяют при создании газонов.

Почвогрунты 1 и 2 изучали методом фитотестирования по одной схеме, но в разное время.

Исследуемый грунт и подготовленную контрольную почву раскладывали в пластиковые контейнеры по 150 г, увлажняли. Далее в каждый контейнер высевали семена тест-культуры: овес — по 21 шт., горчица белая — 25 шт., клевер белый ползучий — 10 г/м² (согласно рекомендациям производителя семян). Повторность опыта — шестикратная. Контейнеры помещали в климатостат марки КС-200 СПУ с заданной программой смены дня и ночи (дневная температура — 20°С, ночная — 15°С). В процессе развития тест-растений поддерживали достаточную влагообеспеченность почвы/грунта. На 14 сут. растения овса и горчицы белой извлекали из контейнеров, отмывали корневую систему и проводили учет биометрических показателей (длина, сырая и сухая масса ростков и корневой системы). У клевера белого ползучего ростки срезали с поверхности грунта и почвы, определяли их сырую и сухую массу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В разных методах фитотестирования применяют различные тест-параметры: длина корней или стеблей проростков; суммарная биомасса растений; всхожесть семян и энергия их прорастания. [9] Для получения более полной информации и объективной оценки качества почвогрунта мы использовали большинство тест-параметров.

Фитотестирование Почвогрунта 1.

Овес и горчица белая на ранних стадиях своего онтогенеза в испытываемом грунте развивались лучше: у овса все, а у горчицы белой почти все исследуемые биометрические показатели были статистически значимо выше, чем в контроле (табл. 1). Стимулирующий эффект от применения Почвогрунта 1 был ожидаем, поскольку, во-первых, грунт имел большую питательную ценность, по сравнению с контрольной почвой, во-вторых, осадки сточных вод в составе органических удобрений или грунтов при правильном подборе компонентов и установлении оптимальных норм внесения обладают удобрительной ценностью для растений. [2, 3, 10]

В контейнерах с Почвогрунтом 1 существенно уменьшилась всхожесть и слабо развивались расте-

Таблица 2.
Средняя сырая масса ростков клевера белого ползучего, выращенного в Почвогрунте 1

Вариант	Норма высева семян, г/м ²	
	10	30
Почвогрунт 1	0,039 ± 0,007*	0,200 ± 0,031*
Контроль	0,346 ± 0,017	0,412 ± 0,094

ния клевера белого ползучего, по сравнению с контрольной почвой. Для исключения ошибок опыт был заложен повторно с разной нормой высева семян: 10 и 30 г/м². Через 14 сут. определили только сырую массу ростков (табл. 2).

Сырая масса ростков клевера белого ползучего при нормах высева семян 10 и 30 г/м² в контрольном варианте выше в 8,9 и 2,1 раза соответственно, по сравнению с показателем, полученным с использованием испытываемого грунта. Семена этого растения мелкие и быстро расходовали собственные запасы питательных веществ. Вскоре после прорастания семян рост растений становился очень зависимым от компонентов почвогрунта, среди которых присутствовали осадки сточных вод. [7]

В образце Почвогрунта 1 установили присутствие валовых форм цинка — 541,4, меди — 178,7 мг/кг. Согласно ГОСТ 53381-2009 и Постановлению № 514-ПП эти значения превышают допустимый уровень в 2,5 и 1,4 раза соответственно, что делает невозможным применение Почвогрунта 1 в растениеводстве, садоводстве, цветоводстве, лесном и городском хозяйствах, на приусадебных участках для повышения плодородия почв, урожайности, качества продукции растениеводства, а также озеленения территорий, в том числе рекреационного.

Таким образом, выявлено соответствие результатов фитотестирования и химических анализов Почвогрунта 1. На фоне высокого содержания в испытываемом грунте элементов питания и лучших биометрических показателей овса и горчицы белой наблюдали угнетение роста и развития клевера белого ползучего, причина которого, вероятнее всего, обусловлена чувствительностью культуры к негативному влиянию повышенного содержания цинка и меди.

Фитотестирование Почвогрунта 2.

Рост и развитие тест-растений зависят от питательной ценности почвогрунта. По своей характеристике Почвогрунт 2 существенно отличался от контроля (большее содержание органического вещества, карбонатов), тем не менее результаты фитотести-

Таблица 3.
Всхожесть и биометрические показатели тест-растений овса и горчицы белой, выращенных в Почвогрунте 2

Вариант	Всхожесть, %	Средняя длина, см		Средняя сырая масса, 10 ⁻² г		Средняя сухая масса, 10 ⁻³ г	
		росток	корневая система	росток	корневая система	росток	корневая система
Овес							
Почвогрунт 2	98 ± 0,6	15,7 ± 0,45	12,6 ± 0,52	8,8 ± 0,23	7,2 ± 0,29	9,5 ± 0,29	6,1 ± 0,22
Контроль	96 ± 0,8	14,5 ± 0,30	12,1 ± 0,25	8,6 ± 0,19	7,2 ± 0,27	9,3 ± 0,34	6,2 ± 0,19
Горчица белая							
Почвогрунт 2	98 ± 0,6*	7,5 ± 0,13	8,5 ± 0,42	8,0 ± 0,20	1,5 ± 0,15	4,7 ± 0,10	1,1 ± 0,10
Контроль	88 ± 0,5	7,2 ± 0,19	7,1 ± 0,22	7,9 ± 0,34	1,4 ± 0,19	4,4 ± 0,24	1,2 ± 0,18

Таблица 4.

Средняя масса ростков клевера белого ползучего, выращенного в Почвогрунте 2

Вариант	Сырая масса ростков, г	Сухая масса ростков, г
Почвогрунт 2	1,139 ± 0,147*	0,141 ± 0,033*
Контроль	0,383 ± 0,031	0,083 ± 0,005

вания свидетельствовали о том, что тест-растения овса и горчицы белой на ранних этапах развивались на уровне контрольной почвы. Статистически значимых различий в биометрических показателях растений не установили, за исключением повышения всхожести семян горчицы на 10% (табл. 3).

Сырая и сухая масса ростков клевера была выше, по сравнению с показателями, полученными при использовании контрольной почвы – в 2,9 и 1,7 раза соответственно (табл. 4). Это может быть связано с реакцией культуры на компоненты грунта, среди которых находилось небольшое количество сапротеля.

Результаты фитотестирования показали, что Почвогрунт 2 не вызывает угнетения роста и развития тест-растений на ранних стадиях онтогенеза и при условии соответствия остальных показателей требованиям Нормативной документации может быть рекомендован для озеленительных работ.

Выводы. Фитотестирование с использованием высших растений можно проводить для установления токсичности природных и техногенных объектов, а также оценки качества искусственных почвогрунтов, как простой, воспроизводимый, достоверный и недорогой метод, дающий представление об испытываемом почвогрунте в целом.

Выявили согласованность полученных данных по биометрии клевера белого ползучего с результатами химических анализов Почвогрунта 1 на содержание тяжелых металлов и со стимулирующим эффектом сапротеля, входящего в состав Почвогрунта 2. Рекомендуем при фитотестировании обязательно применять тест-растения с мелкими семенами для оценки их реакции на стимулирующие и токсичные компоненты грунта.

Установили, что при отсутствии возможности полноценной оценки готового почвогрунта на комплекс показателей, согласно нормативным документам, фитотестирование можно рассматривать как качественную реакцию тест-растений на исследуемый почвогрунт и интегральный показатель его плодородия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бастаева Г.Т., Несват А.П., Лявданская О.А., Севостьянов М.А. Перспективность использования почвогрунтов на основе компостов в городском озеленении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (98). С. 30–37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37
2. Брындина Л.В., Полянский К.К., Стазаева Н.В. Применение осадка сточных вод в качестве биоудобрения // Аграрная наука. 2016. № 4. С. 2–3.
3. Грехова И.В., Грехова В.Ю., Михайловская А.А., Приветкина Н.Ю. Применение осадка сточных вод в составе грунтов // Вестник Кемеровского государственного университета 2015. № 1 (61) Т. 2. С. 16–19.

4. Золотаревский А.А., Прокопович И.И. О перспективах применения растительной земли на основе компостов из древесно-растительных остатков в городском озеленении // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 5. С. 132–136.
5. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Т. 1. № 13. С. 1–18.
6. Николаева О.В., Чистова О.А., Панина Н.Н., Розанова М.С. Экотоксикологическая оценка почв придорожных территорий Ленинградского шоссе методом лабораторного фитотестирования // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2019. № 1. С. 28–34. DOI: 10.3103/s0147687419010083
7. Терехова В.А., Воронина Л.П., Кирюшина А.П. и др. Стандартный алгоритм измерений фитотестирования: учебное пособие. М., 2021. 58 с. ISBN 978-5-9909558.
8. Терехова В.А., Рахлеева А.А., Федосеева Е.В., Кирюшина А.П. Практикум по биотестированию экологичности почв: уч. пос. М.: МАКС Пресс, 2022. 102 с. ISBN 978-5-317-06868-4. DOI: 10.29003/m3054.978-5-317-06868-4
9. Тишин А.С., Тишина Ю.Р. Методы и способы фитотестирования почв: обзор // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11-2 (113). С. 93–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052
10. Чеботарев Н.Т., Найденов Н.Д., Юдин А.А. Агроэкологическая оценка применения осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2016. Т. 6. № 1-2. С. 31–36.
11. Щербakov А.Ю., Карев С.Ю., Абрамцев В.С. и др. Вопросы подготовки и контроля качества искусственно созданных грунтов для озеленения московских газонов // Экологические системы и приборы. 2012. № 10. С. 28–33.
12. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Moskvina N.V. Phytotesting of the soils of urban pedocomplexes in residential areas of Perm, Russia // Applied ecology and environmental research. 2018. Vol. 17. No. 2. PP. 3179–3197. DOI: 10.15666/aeer/1702_31793197
13. Fomina N.V. Phytotesting and environmental assessment of soil in the greenhouse complex. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk. 2020. Vol. 548. P. 022081. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022081
14. Kravsun T.I. Phytotesting of heavy metal contamination of Donbass soils // Diversity of plant world. 2020. No. 3 (6). PP. 37–44. DOI: 10.22281/2686-9713-2020-3-37-44

REFERENCES

1. Basteava G.T., Nesvat A.P., Lyavdanskaya O.A., Sevost'yanov M.A. Perspektivnost' ispol'zovaniya pochvogrunto v gorodskom ozelenenii // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 6 (98). S. 30–37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37
2. Bryndina L.V., Polyanskij K.K., Stazaeva N.V. Primenenie osadka stochnyh vod v kachestve bioudobreniya // Agrarnaya nauka. 2016. № 4. S. 2–3.
3. Grekhova I.V., Grekhova V.Yu., Mihajlovskaya A.A., Privetkina N.Yu. Primenenie osadka stochnyh vod v sostave gruntov // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta 2015. № 1 (61) T. 2. S. 16–19.

4. Zolotarevskij A.A., Prokopovich I.I. O perspektivah primeneniya rastitel'noj zemli na osnove kompostov iz drevesno-rastitel'nyh ostatkov v gorodskom ozelenenii // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik. 2015. T. 19. № 5. S. 132–136.
5. Lisovickaya O.V., Terekhova V.A. Fitotestirovanie: osnovnye podhody, problemy laboratornogo metoda i sovremennye resheniya // Doklady po ekologicheskomu pochvovovedeniyu. 2010. T. 1. № 13. S. 1–18.
6. Nikolaeva O.V., Chistova O.A., Panina N.N., Rozanova M.S. Ekotoksikologicheskaya ocenka pochv pridorozhnyh territorij Leningradskogo shosse metodom laboratornogo fitotestirovaniya // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie. 2019. № 1. S. 28–34. DOI: 10.3103/s0147687419010083
7. Terekhova V.A., Voronina L.P., Kiryushina A.P. i dr. Standartnyj algoritm izmerenij fitoeffektov: uchebnoe posobie. M., 2021. 58 s. ISBN 978-5-9909558.
8. Terekhova V.A., Rahleeva A.A., Fedoseeva E.V., Kiryushina A.P. Praktikum po biotestirovaniyu ekologichnosti pochv: uch pos. M.: MAKS Press, 2022. 102 s. ISBN 978-5-317-06868-4. DOI: 10.29003/m3054.978-5-317-06868-4
9. Tishin A.S., Tishina Yu.R. Metody i sposoby fitotestirovaniya pochv: obzor // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2021. № 11-2 (113). S. 93–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052
10. Chebotarev N.T., Najdenov N.D., Yudin A.A. Agroekologicheskaya ocenka primeneniya osadkov stochnyh vod v kachestve udobrenij sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Nauka. Mysl': elektronnyj periodicheskij zhurnal. 2016. T. 6. № 1-2. S. 31–36.
11. Shcherbakov A.Yu., Karev S.Yu., Abramcev V.S. i dr. Voprosy podgotovki i kontrolya kachestva iskusstvenno sozdannyh gruntov dlya ozeleneniya moskovskih gazonov // Ekologicheskie sistemy i pribory. 2012. № 10. S. 28–33.
12. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Moskvina N.V. Phytotesting of the soils of urban pedocomplexes in residential areas of Perm, Russia // Applied ecology and environmental research. 2018. Vol. 17. No. 2. Pp. 3179–3197. DOI: 10.15666/aeer/1702_31793197
13. Fomina N.V. Phytotesting and environmental assessment of soil in the greenhouse complex. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk. 2020. Vol. 548. P. 022081. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022081
14. Kravsun T.I. Phytotesting of heavy metal contamination of Donbass soils // Diversity of plant world. 2020. No. 3 (6). Pp. 37–44. DOI: 10.22281/2686-9713-2020-3-37-44

Поступила в редакцию 12.01.2024

Принята к публикации 26.01.2024

КОРРЕКЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ В СПЕРМАТОЗОИДАХ БЫКОВ ПРИ КРИОКОНСЕРВАЦИИ*

Марина Николаевна Иващенко^{1,2}, кандидат биологических наук
 Анна Вячеславовна Дерюгина¹, доктор биологических наук
 Андрей Александрович Белов^{1,2}, кандидат биологических наук
 Михаил Иванович Латушко³, кандидат технических наук
 Павел Сергеевич Игнатьев³, кандидат физико-математических наук
 Алексей Иванович Ерзутов², аспирант
 Михаил Сергеевич Лодяной², кандидат биологических наук

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

³Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод имени Э.С. Яламова», г. Екатеринбург, Россия

E-mail: kafedra2577@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние молекулярного водорода на фертильные показатели и энергетический метаболизм сперматозоидов черно-пестрых голштинизированных быков. Изучили нативную сперму и сперму после глубокой заморозки, разбавленную BioXcell и BioXcell с молекулярным водородом. Добавление молекулярного водорода в среду для разбавления спермы и последующая заморозка изменяли функциональный статус клеток после размораживания, увеличилась подвижность сперматозоидов, количество быстрых сперматозоидов, снизилось число медленных клеток относительно анализируемых показателей сперматозоидов после криоконсервации, не подвергшихся воздействию молекулярного водорода. После оттаивания подвижность сперматозоидов возросла на 12%, средняя скорость движения – 9%, содержание АТФ – в два раза. Результаты эксперимента показали, что добавление молекулярного водорода в состав разбавителя спермы улучшает биологические показатели качества спермы быков, ее фертильность, повышает энергетический метаболизм сперматозоидов.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, молекулярный водород, сперматозоиды, криоконсервация, подвижность, АТФ

CORRECTION OF METABOLIC AND STRUCTURAL DISORDERS IN BULL SPERMATOZOIDS DURING CRYOPRESERVATION USING MOLECULAR HYDROGEN

M.N. Ivashchenko^{1,2}, PhD in Biological Sciences
 A.V. Deryugina¹, Grand PhD in Biological Sciences
 A.A. Belov^{1,2}, PhD in Biological Sciences
 M.I. Latushko³, PhD in Engineering Sciences
 P.S. Ignatiev³, PhD in Physical and Mathematical Sciences
 A.I. Erzutov³, PhD Student
 M.S. Lodyanoy¹, PhD in Biological Sciences

¹National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia

²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

³Production Association "Ural Optical and Mechanical Plant named after E.S. Yalakov", Yekaterinburg, Russia

E-mail: kafedra2577@mail.ru

Abstract. The influence of molecular hydrogen on the fertility parameters and energy metabolism of spermatozooids of black-and-white Holstein bulls was studied. Sperm was diluted with sterile BioXcell medium (France), diluted in hydrogen water. We studied native sperm diluted with BioXcell and BioXcell with molecular hydrogen, as well as after deep freezing with and without pre-treatment with molecular hydrogen. The addition of molecular hydrogen to the medium for diluting sperm and subsequent freezing changed the functional status of cells after thawing, leading to an increase in their motility, an increase in the number of motile and fast sperm, and a decrease in the number of slow cells relative to the analyzed indicators of regenerative cells after cryopreservation that were not exposed to molecular hydrogen. Sperm motility after thawing was 12% higher ($p \leq 0.05$), the average movement speed was 9% ($p \leq 0.05$), and the ATP content was two times higher than in sperm samples not treated with molecular hydrogen. The results of the experiment showed that the addition of molecular hydrogen to the semen extender improves the biological indicators of the quality of bull sperm, its fertility, and increases the energy metabolism of spermatozooids.

Keywords: cattle, molecular hydrogen, spermatozoa, cryopreservation, mobility, ATP

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00205 / The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-26-00205.

Уровень воспроизводства в животноводстве определяется количественными и качественными показателями спермы быков. [3, 4] Большое теоретическое и практическое значение имеет изучение ее способности к криоконсервации.

Многочисленными исследованиями установлено, что процесс замораживания вызывает неблагоприятные изменения в половых клетках, их повреждение или полную гибель. [2] Технология сохранения гамет позволяет получить примерно 50% живых сперматозоидов после оттаивания. [17]

Причина гибели спермиев при криоконсервации — затвердевание воды, которой в сперме содержится примерно 90%. Образовавшие кристаллы льда разрушают структуру протоплазмы и ядра сперматозоидов. При охлаждении лед появляется изначально в жидкой фазе спермы, в результате растворенные в ней сахара и соли образуют гипертонические растворы, под действием которых сперматозоиды обезвоживаются. [8, 17]

Совершенствование протоколов криоконсервации спермы помогло бы решить множество проблем, связанных со снижением ее качества после оттаивания. [12, 13]

Молекулярный водород относится к группе соединений, тормозящих на клеточном уровне свободнорадикальные процессы, повышающих активность антиоксидантной системы, усиливающих метаболизм, восстанавливающих структуру клеточных мембран. Он может положительно повлиять на морфологические и функциональные показатели сперматозоидов. [9, 10]

Решающее значение для определения оптимальной функции спермы имеет прогрессивная подвижность сперматозоидов. [15, 16] Для ее поддержания на необходимом для оплодотворения уровне требуются затраты АТФ. [11, 14]

Цель работы — изучить влияние молекулярного водорода на функциональный статус нативных и деконсервированных сперматозоидов быков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ООО «Нижегородское» (Кстовский муниципальный район Нижегородской области) исследовали *in vitro* сперму *черно-пестрых голшти-низированных* быков. Сбор проводили у животных в возрасте трех лет в соответствии с национальной технологией замораживания и использования спермы племенных быков-производителей. Взято около 150 эякулятов с подвижностью сперматозоидов более 7 баллов и минимальным количеством аномальных форм клеток.

Сперму разбавляли стерильной средой BioXcell (Франция). Для изучения влияния молекулярного водорода на сперматозоиды быков BioXcell разводили водородной водой. Затем осуществляли итоговое разбавление, фасовку и эквilibрацию (экспозиция при 4°C в течение трех-четырех часов). Сперматозоиды замораживали в открытых гранулах по 0,2 мл (ГОСТ 26030-2015) в течение 7,5 мин. до температуры минус 145°C, затем контейнер с образцами помещали в жидкий азот (минус 196°C).

После окончания семидневного карантина семя размораживали по стандартной технологии.

Освобождали сперматозоиды от семенной плазмы отмывая ее физиологическим раствором, дважды центрифугируя по 10 мин. при 400g, надосадочную жидкость сливали. Осадок суспендировали в 1 мл физиологического раствора. Лизис сперматозоидов проводили трехкратным замораживанием/оттаиванием. Затем образцы центрифугировали 5 мин. при 2500g.

Для насыщения воды молекулярным водородом использовали герметический бокс, в котором давление водорода повышали до 4 атм. в течение нескольких часов. Пакет выдерживали при атмосферном давлении в замкнутом объеме для того, чтобы избежать выделения водорода в виде микропузырьков и обратной его диффузии через стенки пакета. Концентрация молекулярного водорода в растворе — 1,2...5 мг/л.

Исследовали нативную сперму, разбавленную BioXcell (группа I), нативную разбавленную BioXcell с молекулярным водородом (II), сперму после криоконсервации (III) и после глубокой заморозки, предварительно обработанную молекулярным водородом (IV).

Определяли качественные показатели фертильности сперматозоидов на спермоанализаторе SA-500 «Биола» (Россия) и содержание в них АТФ методом И.Л. Виноградовой с соавторами. [1]

Полученные данные обрабатывали в программе Microsoft Excel. Результаты анализировали по параметрическому t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нативные эякуляты имели $82,51 \pm 5,95\%$ подвижных сперматозоидов. После криоконсервации $71,15 \pm 4,34\%$ из них были протестированы как подвижные (см. таблицу).

Приведенные в таблице экспериментальные данные показывают, что в нативной сперме количество подвижных сперматозоидов составило в среднем $35,76 \pm 6,17$ млн/доза, быстрых — $65,54 \pm 7,14$ и медленных — $45,37 \pm 4,17$, после криоконсервации подвижных сперматозоидов было в среднем $27,35 \pm 5,16$, быстрых — $51,77 \pm 6,13$ и медленных — $46,38 \pm 4,44$ млн/доза.

Скорость движения сперматозоидов — один из наиболее информативных показателей качества спермы. Исследования ученых на замороженно-оттаянной сперме крупного рогатого скота подтверждают, что значительную связь с оплодотворяющей способностью имеет не подвижность сперматозоидов, а скорость их движения. [5] В ходе проведенных экспериментов произошло снижение скорости движения сперматозоидов после замораживания с $85,62 \pm 3,54$ до $74,53 \pm 2,48$ мкм/сек ($p \leq 0,05$).

Известно, что концентрация АТФ в сперматозоидах положительно коррелирует с оплодотворяющей способностью. [6, 14] Согласно полученным данным, в оттаявших сперматозоидах концентрация АТФ ниже, чем в нативных. До замораживания содержание АТФ в сперматозоидах — $0,79 \pm 0,09$ мкмоль/л, после оттаивания — $0,28 \pm 0,05$ мкмоль/л.

По результатам исследований установлено, что при глубоком замораживании спермы быков *черно-пестрой* породы в сперматозоидах наблюдаются из-

Влияние молекулярного водорода на показатели фертильности и внутриклеточное содержание АТФ в сперматозоидах быков, М±т

Критерий фертильности сперматозоидов	Нативные разбавленные сперматозоиды		Сперматозоиды после	
	группа I	после воздействия молекулярным водородом (группа II)	криоконсервации (группа III)	воздействия молекулярным водородом и криоконсервации (группа IV)
Подвижность, %	82,51±5,95	79,81±5,55	71,15±4,34*	79,62±3,60* ^Δ
Количество подвижных, млн/доза	35,76±6,17	36,67±6,12	27,35±5,16*	33,71±6,03* ^Δ
Количество быстрых, млн/доза	65,54±7,14	66,32±6,72	51,77±6,13*	58,98±6,55* ^Δ
Количество медленных, млн/доза	45,37±4,17	43,27±4,45	46,38±4,44	41±3,96 ^Δ
Средняя скорость движения, мкм/сек.	85,62±3,54	83,27±4,47	74,53±2,48*	81,56±3,52* ^Δ
Содержание АТФ, мкмоль/л	0,79±0,09	0,75±0,12	0,28±0,05*	0,47±0,04* ^Δ

Примечание. среднее ± SEM, «*» – статистически значимые различия по отношению к группе I, p<0,05; «Δ» – статистически значимые различия между группами после криоконсервации (группы III и IV), p<0,05.

менения фертильных показателей и биохимических процессов, связанных с генерацией энергии.

Добавление молекулярного водорода в среду для разбавления спермы и последующая заморозка изменяло функциональный статус клеток после размораживания, приводило к увеличению их подвижности, повышению количества подвижных и быстрых сперматозоидов, снижению числа медленных клеток относительно анализируемых показателей регенеративных клеток после криоконсервации, не подвергшихся воздействию молекулярного водорода. Подвижность сперматозоидов после оттаивания была выше на 12%, средняя скорость движения – 9%, содержание АТФ – в два раза, чем в образцах спермы, не обработанных молекулярным водородом.

Результаты экспериментов показали, что добавление молекулярного водорода в состав разбавителя спермы улучшает биологические показатели качества спермы быков, ее фертильность, повышает энергетический метаболизм сперматозоидов.

Положительное влияние молекулярного водорода на метаболические и структурные показатели сперматозоидов возможно обусловлено антиоксидантными свойствами молекулярного водорода. [7, 9, 10] Известно, что в процессе криоконсервации в сперматозоидах происходит накопление супероксидных радикалов, что приводит к повреждению ДНК, белков, липидов, развитию окислительного стресса. [4, 5]

На основании проведенной работы можно заключить, что добавление молекулярного водорода в среду для замораживания спермы быков повышает биологическую полноценность сперматозоидов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградова И.Л. Метод одновременного определения 2,3 ДФГ и АТФ в эритроцитах // Лабораторное дело. 1980. № 7. С. 424–426.
2. Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Лодяной М.С. Оценка резистентности мембран сперматозоидов быков в процессе долгосрочного хранения // Естественные и технические науки. 2022. Т. 1 (164). С. 107–109.
3. Добсон Х., Уокер С.Л., Моррис М.Дж. и др. Почему становится все труднее успешно искусственно осеменять молочных коров? // Animal. 2008. Т. 2. С. 1104–11. DOI: 10.1017/S175173110800236X

4. Желтиков А.И., Коновалова Т.В., Себежко О.И. и др. Качество спермы быков красных пород ОАО племпредприятие «Барнаульское» и устойчивость ее к криоконсервации // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. Т. 1. С. 92–100. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-92-100>
5. Ляшенко А.А. Биологические показатели спермы быков в зависимости от срока хранения в жидком азоте // Зоотехническая наука Беларуси. 2015. Т. 50. № 1. С. 126–134.
6. Мохаммадзаде С., Максудов Г.Ю., Фрунджян В.Г. и др. Функциональные изменения сперматозоидов мыши при сохранении in vitro // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2008. № 2. С. 7–10.
7. Накао А. Эффективность воды, богатой водородом, на антиоксидантный статус субъектов с потенциальным метаболическим синдромом – открытое пилотное исследование // J Clin Biochem Nutr. 2010. № 46. С. 140–149.
8. Национальная технология замораживания и использования спермы племенных быков-производителей / под ред. А.И. Абилова, Н.М. Решетниковой. М.: 2008. 160 с.
9. Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Михайлова Р.И. Молекулярный водород: биологическое действие, возможности применения в здравоохранении (обзор) // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 4. С. 359–365.
10. Artamonov M.Yu., Martusevich A.K., Pyatakovich F.A. et al. Molecular Hydrogen: From Molecular Effects to Stem Cells Management and Tissue Regeneration // Antioxidants. 2023. Vol. 12. № 3. PP. 636. <https://doi.org/10.3390/antiox12030636>.
11. Aziz N., Said T., Paasch U., Agarwal A. The relationship between human sperm apoptosis, morphology and the sperm deformity index. Hum Reprod. 2007. Vol. 22. PP. 1413–1419.
12. Forero-Gonzalez R.A., Celeghini E.C.C., Raphael C.F. et al. Effects of bovine sperm cryopreservation using different freezing techniques and cryoprotective agents on plasma, acrosomal and mitochondrial membranes// Andrology. 2012. № 44. PP. 154–159.
13. Kadirvel G., Kathiravan P., Kumar S. Protein tyrosine phosphorylation and zona binding ability of in vitro capacitated and cryopreserved buffalo spermatozoa// Theriogenology. 2011. Vol. 75. № 9. PP. 1630–1639.
14. Rodriguez-Miranda E., Buffone M., Edwards S. et al. Extracellular Adenosine 5'-Triphosphate Alters Motility and

- Improves the Fertilizing Capability of Mouse Sperm. *Biol Reprod.* 2008. Vol. 79. PP. 164–171.
15. Semen quality, lipid peroxidation, and seminal plasma antioxidant status in horses with different intensities of physical exercise // *Acta Veterinaria Brno.* 2013. Vol. 82. № 1. PP. 31–35.
 16. Storey B.T. Mammalian sperm metabolism: oxygen and sugar, friend and foe // *International Journal of Developmental Biology.* 2008. Vol. 52. № 5–6. PP. 427–437.
 17. Talukdar D.J. Cryocapacitation and fertility of cryopreserved semen // *Int. J. Livestock Res.* 2015. Vol. 5. PP. 11–18.
- REFERENCES**
1. Vinogradova I.L. Metod odnovenennogo opredeleniya 2,3 DFG i ATF v eritrocitah // *Laboratornoe delo.* 1980. № 7. S. 424–426.
 2. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Lodyanov M.S. Ocenka rezistentnosti membran spermatozoidov bykov v processe dolgosrochnogo hraneniya // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* 2022. T. 1 (164). S. 107–109.
 3. Dobson H., Uoker S.L., Morris M.Dzh. i dr. Pochemu stanovitsya vse trudnee uspesjno iskusstvenno osemenyat' molochnyh korov? // *Animal.* 2008. T. 2. S. 1104–11. DOI: 10.1017/S175173110800236X
 4. Zheltikov A.I., Konovalova T.V., Sebezhko O.I. i dr. Kachestvo spermy bykov krasnyh porod OAO plempredpriyatie «Barnaul'skoe» i ustojchivost' ee k kriokonservacii // *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2021. T. 1. S. 92–100. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-92-100>
 5. Lyashenko A.A. Biologicheskie pokazateli spermy bykov v zavisimosti ot sroka hraneniya v zhidkom azote // *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi.* 2015. T. 50. № 1. S. 126–134.
 6. Mohammadzade S., Maksudov G.Yu., Frundzhyan V.G. i dr. Funkcional'nye izmeneniya spermatozoidov myshi pri sohraneni in vitro // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya.* 2008. № 2. S. 7–10.
 7. Nakao A. Effektivnost' vody, bogatoj vodorodom, na antioksidantnyj status sub"ektov s potencial'nyim metabolicheskim sindromom – otkrytoe pilotnoe issledovanie // *J Clin Biochem Nutr.* 2010. № 46. S. 140–149.
 8. Nacional'naya tekhnologiya zamorazhivaniya i ispol'zovaniya spermy plemennyh bykov-proizvoditelej / pod red. A.I. Abilova, N.M. Reshetnikovoj. M.: 2008. 160 s.
 9. Rahmanin Yu.A., Egorova N.A., Mihajlova R.I. Molekulyarnyj vodorod: biologicheskoe dejstvie, vozmozhnosti primeneniya v zdavoohranenii (obzor) // *Gigiena i sanitariya.* 2019. T. 98. № 4. S. 359–365.
 10. Artamonov M.Yu., Martusevich A.K., Pyatakovich F.A. et al. Molecular Hydrogen: From Molecular Effects to Stem Cells Management and Tissue Regeneration // *Antioxidants.* 2023. Vol. 12. № 3. PP. 636. <https://doi.org/10.3390/antiox12030636>.
 11. Aziz N., Said T., Paasch U., Agarwal A. The relationship between human sperm apoptosis, morphology and the sperm deformity index. *Hum Reprod.* 2007. Vol. 22. PP. 1413–1419.
 12. Forero-Gonzalez R.A., Celeghini E.C.C., Raphael C.F. et al. Effects of bovine sperm cryopreservation using different freezing techniques and cryoprotective agents on plasma, acrosomal and mitochondrial membranes // *Andrology.* 2012. № 44. PP. 154–159.
 13. Kadirvel G., Kathiravan P., Kumar S. Protein tyrosine phosphorylation and zona binding ability of in vitro capacitated and cryopreserved buffalo spermatozoa // *Theriogenology.* 2011. Vol. 75. № 9. PP. 1630–1639.
 14. Rodriguez-Miranda E., Buffone M., Edwards S. et al. Extracellular Adenosine 5'-Triphosphate Alters Motility and Improves the Fertilizing Capability of Mouse Sperm. *Biol Reprod.* 2008. Vol. 79. PP. 164–171.
 15. Semen quality, lipid peroxidation, and seminal plasma antioxidant status in horses with different intensities of physical exercise // *Acta Veterinaria Brno.* 2013. Vol. 82. № 1. PP. 31–35.
 16. Storey B.T. Mammalian sperm metabolism: oxygen and sugar, friend and foe // *International Journal of Developmental Biology.* 2008. Vol. 52. № 5–6. PP. 427–437.
 17. Talukdar D.J. Cryocapacitation and fertility of cryopreserved semen // *Int. J. Livestock Res.* 2015. Vol. 5. PP. 11–18.

*Поступила в редакцию 08.11.2023
Принята к публикации 22.11.2023*

ИЗУЧЕНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ЭКСТРАКТА КОРЫ *QUERCUS CORTEX* С ФЕРМЕНТНОЙ ДОБАВКОЙ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И РОСТ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ*

Валентина Сергеевна Полякова^{1,2}, магистрант

Ксения Сергеевна Нечитайло^{1,2}, кандидат биологических наук

Елена Анатольевна Сизова^{1,2}, доктор биологических наук, профессор

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», г. Оренбург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

E-mail: k.nechit@mail.ru

Аннотация. Применение фитобиотиков совместно с другими кормовыми добавками может быть полезным для здоровья и производительности животных. Но необходимо исследовать комбинации кормовых добавок и определить рекомендуемую дозу для повышения продуктивности несушек и бройлеров. В работе рассмотрено совместное влияние экстракта коры *Quercus cortex* (QC) и ферментной (Ф) добавки на гематологические показатели крови и рост цыплят-бройлеров. В результате эксперимента установили, что абсолютный прирост массы цыплят опытной группы, по сравнению с контрольной, составил 10,94%. Уровень общего белка на 21 сут. в группе ОР+Ф+QC был увеличен на 19,16%, альбумина – 18,87, мочевины – 21,0, глюкозы – 25,25% ($p \leq 0,05$). На 42 сутки наблюдали увеличение общего белка на 4,01%, альбумина – 8,31 и мочевины на 9,37% ($p \leq 0,05$) в группе ОР+Ф+QC, по сравнению с ОР. Анализ минерального обмена показал повышение содержания кальция в группе ОР+Ф+QC на 18,6% ($p \leq 0,05$). Таким образом, применение данного рациона не оказало отрицательного влияния на рост, морфологические и биохимические показатели крови и способствовало улучшению обменных реакций. Из вышесказанного следует, что использование фитобиотиков и ферментных добавок может приводить к синергетическому эффекту и благоприятно воздействовать на сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, ферментная добавка, экстракт коры, *Quercus cortex*, рост, гематологические показатели

STUDY OF THE *QUERCUS CORTEX* EXTRACT COMBINED EFFECT WITH AN ENZYME SUPPLEMENT ON HEMATOLOGICAL BLOOD PARAMETERS AND BROILERS CHICKEN GROWTH

V.S. Polyakova^{1,2}, Master Student

K.S. Nechitailo^{1,2}, PhD in Biological Sciences

E.A. Sizova^{1,2}, Grand PhD in Biological Sciences, Professor

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University», Orenburg, Russia

E-mail: k.nechit@mail.ru

Abstract. The use of phytobiotics with other feed additives in agriculture may be useful for improving animal health and productivity, but further research is needed, to consider other combinations of feed additive sharing and to determine the recommended dose to increase the productivity of laying hens and broilers. In this regard, the work considers the combined effect of oak (*Quercus cortex*) bark extract and enzyme additive on hematological blood parameters and growth of broiler chickens. As a result of the experiment, it was found that the absolute increase in chickens of experimental group compared to the control was 10.94%. The level of total protein on day 21 in the BD+E+QC group was increased by 19.16% ($p \leq 0.05$), albumin by 18.87% ($p \leq 0.05$), urea by 21.05% ($p \leq 0.05$), glucose by 25.25% ($p \leq 0.05$). On day 42, there was an increase in total protein by 4.01% ($p \leq 0.05$), albumin by 8.31% ($p \leq 0.05$) and urea by 9.37% ($p \leq 0.05$) in the group BD+E+QC compared to BD. Analysis of mineral metabolism showed an increase in magnesium content in the BD+E+QC group by 24.5%, in calcium – 18.6%, and in phosphorus – 22.0%. The use of this diet didn't have a negative effect on growth, morphological and biochemical blood parameters and contributed to the improvement of many indicators. From the above, it follows that the use of phytobiotics and enzyme additive can lead to a synergistic effect and a beneficial effect on farm animals.

Keywords: broiler chickens, enzyme additive, bark extract, *Quercus cortex*, growth, hematological parameters

Многочисленными исследованиями доказано, что использование антибиотиков вызывает появление патогенных бактерий с лекарственной устойчивостью, что приводит к снижению иммунитета у животных и людей, а также уничтожению полезной микрофлоры и другим побочным эффектам. [8]

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-26-00253) / The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-26-00253).

Альтернатива антибиотикам – добавки из растительного сырья. Фитобиотики (фитохимические или фитогенные препараты) представляют собой широкий спектр биологически активных соединений растительного происхождения. [9] Фитогенные компоненты – натуральные агенты, их возможно применять как кормовые добавки для домашней птицы.

Фитобиотики оказывают комплексное воздействие, проявляя антиоксидантные, противовоспалительные, противомикробные, противопаразитарные и иммуномодулирующие свойства. [3] Отмечена их роль в улучшении усвояемости корма, стабилизации микробиоты кишечника, стимуляции роста животных, снижении стресса, улучшении качества мяса. [13] Биоактивное действие фитобиотиков связано с их составом. Экстракты растений содержат фенольные соединения, терпеноиды, флавоноиды, гликозиды и алкалоиды, фитостеролы, каротиноиды и другие. [7] К активным соединениям, полученным путем экстракции из фитобиотиков, относят карвакрол, тимол, цинеол, линалоол, анетол, эвгенол, капсаицин, аллицин, аллилизотиоцианат и пиперин. Большинство из этих вторичных метаболитов растений принадлежат к классам производных изопрена, флавоноидов и глюкозинолатов, выступающих в качестве антибиотиков или антиоксидантов. [3]

Наиболее распространенные растения в фитокормовых добавках – орегано (*Origanum vulgare*), розмарин (*Rosmarinus officinalis*), корица (*Cinnamomum cassia*), перец (*Piper nigrum*), мята (*Mentha piperita*), тимьян (*Thymus vulgaris*), чеснок (*Allium sativum*) и другие виды. Среди них важными источниками высокой биологической активности признаны растения рода *Quercus*. Основные соединения, идентифицированные у его видов, – полифенолы, тритерпеноиды и полисахариды антиоксидантов. [15] *Quercus cortex* обладает высокой биологической активностью. Экстракт его коры содержит не менее 8% дубильных веществ, катехин, эллановую, галловую, ванилиновую и протокатеховую кислоты, а также обладает выраженными антибактериальными свойствами. [16]

Не менее перспективное направление – использование в рационах птиц ферментных добавок. Желудочно-кишечный тракт птиц вырабатывает ферменты, способствующие перевариванию питательных веществ, но для нивелирования антипитательных факторов, полного переваривания клетчатки и улучшения пищеварения целесообразно введение экзогенных ферментов в рацион. Пектиназы, амилазы, целлюлаза, галактозидазы, β-глюканазы, ксиланазы, ассоциированные ферментные фитазы, протеазы и липазы применяют как экзогенные ферменты в индустрии кормов для животных с однокамерным желудком (домашняя птица, свиньи). Введение ферментов в рацион бройлеров способствовало уменьшению вязкости кишечного содержимого, улучшению пищеварения и усвоения питательных веществ. [3] Положительное действие комплекса ферментов обосновано гидролизом различных компонентов растительных клеток. Снижая действие некрахмальных полисахаридов, содержащихся в злаках, ферменты повышают экономическую эффективность при промышленном выращивании бройлеров. [1, 2]

Эффективно совместное введение пробиотиков и фитобиотиков. Исследованиями *in vitro* с комбинацией пробиотиков и фитобиотиков доказано, что фитобиотики могут поддерживать рост пробиотических бактерий. [12] Такая комбинация может оказывать благотворное синергетическое воздействие на микробиоту кишечника цыплят, улучшая производственные показатели, коэффициент конверсии корма, экологию кишечника, иммунитет, антиоксидантный статус, а также качество мяса бройлеров. [10]

Применение фитобиотиков с другими кормовыми добавками в сельском хозяйстве может быть полезным для улучшения здоровья и производительности животных, однако необходимы дополнительные исследования, чтобы рассмотреть возможные варианты одновременного использования препаратов.

Цель работы – изучить совместное влияние фитобиотического экстракта коры дуба *Quercus cortex* L. с ферментной добавкой на гематологические и продуктивные показатели цыплят бройлеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения – семидневные цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес. Птицу всех групп содержали в одинаковых условиях в соответствии с рекомендациями российских нормативных актов и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (1996 год). Были приняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество опытных образцов.

Экспериментальную часть провели на базе вивария ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Методом пар-аналогов сформировали две группы по 35 гол. Основной рацион – унифицированная стандартная пшенично-кукурузная кормосмесь, соответствующая нормам ФНЦ ВНИИТИП РАН. Использовали ферментную добавку, содержащую эндо-1,4-бета-ксилазу – 4000 ед./г, α-амилазу – 400, субтилизин – 8000 ед./г (ООО «Данзим», Россия) и фитобиотический экстракт коры *Quercus cortex* L.

Особи контрольной группы получали основной рацион (ОР), опытной – ОР и 0,05% ферментной добавки (Ф) с фитобиотическим экстрактом *Quercus cortex* L. (QC) в дозе 2,5 мл/кг живой массы. Исследования включали два периода – подготовительный (7 сут.) и учетный – (35). Общая продолжительность эксперимента – 42 дня. Убой проводили в возрасте 28 сут. и в конце эксперимента. Контрольные взвешивания для определения живой массы цыплят осуществляли еженедельно. В середине и конце эксперимента исследовали морфологические (содержание гемоглобина, количество эритроцитов, гематокритное число, скорость оседания эритроцитов, средний объем эритроцитов, уровень лейкоцитов) и биохимические (общий белок, глюкоза, аланинаминотрансфераза (АлАТ), аспартатаминотрансфераза (АсАТ), креатинин, липаза, триглицериды, холестерин, билирубин общий, мочевины, железо, магний, фосфор, кальций) показатели. Брели и анализировали кровь в соответствии с методическими указаниями В.Г. Вертипрахова с соавторами (2021).

Данные обрабатывали на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» с использованием

Таблица 1.

Динамика живой массы цыплят-бройлеров

Группа	Сутки					
	1	7	14	21	28	35
ОР	198,27±3,25	337,24±5,34	688,65±16,75	1338,24±19,28	1644,67±23,59	2058±22,32
ОР+Ф+QC	199,07±3,47	398,54±8,16*	695,24±18,12	1392,18±22,35	1767,26±34,25*	2262,28±28,41*

Примечание. * – $p \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп. То же в табл. 3.

Таблица 2.

Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут.

Показатель	Единица измерения	Сутки			
		21		42	
		ОР	ОР+Ф+QC	ОР	ОР+Ф+QC
Лейкоциты	109/L	36,16±1,806	37,69±6,839	36,50±1,175	38,00±1,063
Эритроциты	1012/L	1,78±0,016	2,10±0,104*	1,94±0,020	1,98±0,069
Гемоглобин	g/L	107,00±4,500	121,00±2,342*	106,50±3,250	109,50±4,124*
Гематокрит	%	21,80±1,600	24,60±2,854	23,55±0,450	23,30±1,143

Примечание. * – $p \leq 0,05$ при сравнении групп между собой в одном периоде. То же в табл. 4, 5.

Таблица 3.

Эритроцитарные индексы крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут.

Показатель	Единица измерения	Сутки			
		21		42	
		ОР	ОР+Ф+QC	ОР	ОР+Ф+QC
Средний объем эритроцита	fl	123,15±2,350	128,43±1,981	118,70±3,400	119,75±0,286
Среднее содержание гемоглобина в эритроците	pg	54,85±1,350	56,77±1,225	53,70±1,300	55,25±0,286
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците	g/l	452,50±2,500	461,50±3,674	445,50±2,500	442,00±4,359
Распределение эритроцитов по объему	%	9,25±0,050	9,05±0,404	9,55±0,050	8,95±0,122
	fl	45,75±0,750	45,30±2,774	45,60±1,000	43,40±0,735

материально-технических средств ЦКП ФНЦ БСТ РАН. Морфологические и биохимические показатели крови изучали по стандартным методикам при помощи автоматического биохимического анализатора CS-T240 (Dirui Industrial Co., Ltd., Китай) и наборов ДиаВетТест (Россия).

Результаты статистически обрабатывали в Microsoft Office, программах Excel и Statistica 12.0. Нормальность распределения данных проверяли по критерию согласия Колмогорова-Смирнова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установили, что живая масса цыплят-бройлеров группы ОР+Ф+QC на седьмые сутки эксперимента была выше контрольных значений на 18,2%, 28 сут. – 7,45% (табл. 1). К концу эксперимента разница по показателю составила 9,93% ($p \leq 0,05$). Абсолютный прирост массы цыплят группы ОР – 1859,73 г, ОР+Ф+QC – 2053,21 г (на 10,94% выше).

Увеличение прироста живой массы обусловлено улучшением перевариваемости сырых белков, крахмала и жира, некрахмальных полисахаридов. [3] Эндо-1,4-бета-ксилаза и α -амилаза участвуют в гидролизе клеточной стенки растений и благотворно влияют на микрофлору кишечника, усвояемость питательных веществ и иммунитет бройлеров. [11]

Изучили морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 сут. для оценки их физиологического статуса и состояния здоровья (табл. 2). Отклонений от референтных интервалов выявлено не было, что свидетельствует об отсутствии патологических процессов. Установлено, что ферментная добавка в сочетании с фитобиотическим экстрактом приводит на 21 сут. к увеличению содержания эритроцитов на 17,9%, гемоглобина – 13,08, гемоглобина (42 сут.) – 2,82%.

При изучении эритроцитарных индексов исследовали физиологические свойства эритроцитов (табл. 3). Из-за стабильности данных параметров статистически значимых изменений выявлено не было. С возрастом происходит снижение среднего содержания и концентрации гемоглобина в эритроците.

В результате анализа лейкоцитарной формулы статистически значимых изменений не найдено.

Биохимические показатели крови отражают транспортную и регуляторную функции крови, свидетельствуя о тесной взаимосвязи между пищеварительной системой и метаболизмом. [6] Уровень белка в рамках физиологической нормы тесно коррелирует с интенсивностью белкового синтеза. Первые две недели эксперимента характеризовались скачкообразным изменением динамики массы тела, на фоне этого у птиц группы ОР+Ф+QC

Таблица 4.
Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров
в возрасте 21 сут.

Показатель	Группа	
	ОР	ОР+Ф+QC
Глюкоза, ммоль/л	14,02±0,270	17,56±0,501*
Общий белок, г/л	27,30±1,360	32,53±1,710*
Альбумин, г/л	11,50±0,507	13,67±0,402*
АлАТ, Ед/л	18,00±0,400	13,37±2,050
АсАТ, Ед/л	204,45±48,550	265,10±26,063
Билирубин общий, мкмоль/л	0,98±0,495	0,93±0,220
Холестерин, ммоль/л	3,18±0,097	3,48±0,135*
Триглицериды, ммоль/л	0,19±0,095	0,35±0,226
Мочевина, ммоль/л	0,38±0,015	0,46±0,021*
Липаза, Ед/л	10,05±0,550	10,10±0,78

Таблица 5.
Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров
в возрасте 42 сут.

Показатель	Группа	
	ОР	ОР+Ф+QC
Глюкоза, ммоль/л	14,38±0,890	11,79±1,175
Общий белок, г/л	30,17±1,057	31,38±1,305*
Альбумин, г/л	16,00±0,440	17,33±0,667*
АлАТ, Ед/л	17,35±2,650	13,63±3,259
АсАТ, Ед/л	220,25±19,150	255,53±3,692
Билирубин общий, мкмоль/л	0,99±0,455	0,99±0,176
Холестерин, ммоль/л	2,84±0,062	2,71±0,028*
Триглицериды, ммоль/л	0,18±0,035	0,22±0,018
Мочевина, ммоль/л	0,32±0,005	0,35±0,003*
Липаза, Ед/л	4,85±1,450	3,87±1,667

происходило увеличение общего белка на 19,16%, мочевины – 21,05, альбумина – 18,87%. Подобные изменения связаны с метаболическими сдвигами от усиления анаболических процессов. Уровень глюкозы у цыплят группы ОР+Ф+QC на 21 сут. превышал контроль на 25,25% (табл. 4, 5).

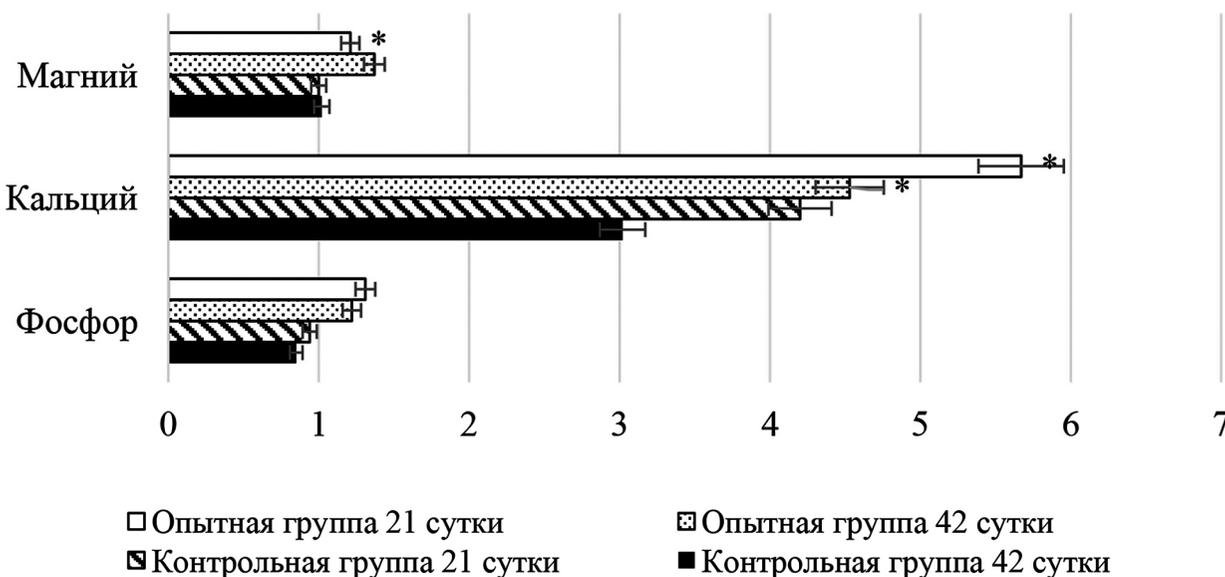
Метаболические процессы в организме животных сопровождаются перераспределением органических и минеральных веществ из пищеварительного тракта в кровь для осуществления гомеостатических реакций, с возрастом снижается общий белок. У цыплят (42 сут.) наблюдали увеличение общего белка на 4,01%, альбумина – 8,31, мочевины – 9,37% в группе ОР+Ф+QC, по сравнению с ОР.

Снижение показателей мочевой кислоты можно объяснить диуретическим воздействием флавоноидов, дубильных веществ и алкалоидов, входящих в состав фитобиотика. Танины и флавоноиды участвуют в ингибировании α-глюкозидазы, приводя к понижению уровня глюкозы в крови. [14] Некоторые ученые наблюдали уменьшение окисления липидов в организме после добавления в рацион птиц дубильных веществ. [4] Уровень липазы, АсАТ, АлАТ в крови падает из-за благотворного влияния фитобиотика на печень бройлеров, который способствовал увеличению секреции желчи и сокращению содержания холестерина в плазме. [5]

Минеральные элементы отвечают за поддержание гомеостаза, вовлечены во многие обменные процессы и биохимические реакции, кроме того, отмечено их косвенное влияние на метаболизм через воздействие на микрофлору. Магний, кальций и фосфор – одни из важнейших микроэлементов в организме (см. рисунок).

На 21 сут. увеличилось содержание магния у птиц, получавших ОР+Ф+QC на 21,0%, кальция – 35,2, кальция (42 сут.) – 18,6, уменьшилось железа – на 7,46%, по сравнению с группой ОР. В связи с тем, что фитобиотик проявляет диуретические свойства, в крови повысилась концентрация магния, кальция и фосфора. Снижение содержания железа можно объяснить способностью дубильных кислот связывать его в хелаты и нормализовывать сывороточный ферритин.

Выявленные уровни метаболитов крови указывают на потенциал комплексного введения фитобиотического экстракта и ультрадисперсных частиц цинка в улучшение общего состояния здоровья



Показатели минерального обмена в крови цыплят-бройлеров (ммоль/л).

и наращивание продуктивных показателей. В работе не отмечали влияния исследуемого фактора на соотношение биомаркеров стресса и воспаления, это свидетельствует об адаптивности веществ для организма цыплят-бройлеров. Комбинация ультрадисперсного микроэлемента и фитобиотика может стать альтернативой стимуляторов роста на основе антибиотиков.

Таким образом, анализ динамики живой массы показал, что при добавлении в рацион экстракта *Q. Cortex* L. масса цыплят опытной группы увеличилась на 9,93%, по сравнению с контрольной. Использование фитобиотиков и ферментных добавок способствует синергетическому эффекту и благоприятно действует на сельскохозяйственных животных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Влияние мультиэнзимной кормовой добавки на показатели мясной продуктивности цыплят-бройлеров. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. VI Всеросс. (национальной) науч. конф. с междунар. уч-м, Новосибирск, 20 декабря 2021 года. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021. С. 294–296.
2. Alqhtani A.H., Al Sulaiman A.R., Alharthi A.S., Abudabos A.M. Effect of Exogenous Enzymes Cocktail on Performance, Carcass Traits, Biochemical Metabolites, Intestinal Morphology, and Nutrient Digestibility of Broilers Fed Normal and Low-Energy Corn–Soybean Diets // *Animals*. 2022. Vol. 12. PP. 1–12. DOI: 10.3390/ani12091094
3. Ayalew H., Zhang H., Wang J. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production // *Front Vet Sci*. 2022. Vol. 9. PP. 1–11. DOI: 10.3389/fvets.2022.916473.
4. Duskaev G.K., Kazachkova N.M., Ushakov A.S. et al. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens // *Veterinary world*. 2018. Vol. 11 (2). PP. 235–239. DOI: 10.14202/vetworld.2018.235-239
5. Flees J.J., Ganguly B., Dridi S. Phytogetic feed additives improve broiler feed efficiency via modulation of intermediary lipid and protein metabolism-related signaling pathways // *Poultry science*. 2021. Vol. 100 (3). PP. 1–11. DOI: 10.1016/j.psj.2020.12.060
6. Grozina, A., Vertiprakhov V., Fisinin V. Biochemical blood parameters in laying hens fed diets supplemented with different vegetable oils // *Proceedings of the 26th World's Poultry Congress. Book of Abstracts 2021 V. 1: Dr. Michèle Tixier-Boichard, Dr. Michel Duclos, Editors, Paris, France, 7–11 августа 2022 года. – Paris: French Branch of the World's Poultry Science Association, 2022. P. 313.*
7. Haque M.H., Sarker S., Islam M.S. et al. Sustainable Antibiotic-Free Broiler Meat Production: Current Trends, Challenges, and Possibilities in a Developing Country Perspective // *Biology*. 2020. Vol. 9. PP. 1–24. DOI: 10.3390/biology9110411.
8. Hu Y.J., Cowling B.J. Reducing antibiotic use in livestock, China // *Bulletin of the World Health Organization*. 2020. Vol. 98 (5). PP. 360–361. DOI: 10.2471/BLT.19.243501.
9. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity // *Anim Biosci*. 2021. Vol. 34 (3). PP. 345–353. DOI: 10.5713/ab.20.0842.

10. Rafiq K., Tofazzal Hossain M., Ahmed R. et al. Role of Different Growth Enhancers as Alternative to In-feed Antibiotics in Poultry Industry // *Frontiers in veterinary science*. 2022. Vol. 8. PP. 1–9. DOI: 10.3389/fvets.2021.794588
11. Saleh A.A., Mousa A., Amber K. et al. Effect of endo-1,4-beta-xylanase supplementation to low-energy diets on performance, blood constituents, nutrient digestibility, and gene expressions related growth of broiler chickens // *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2023. P. 1–12. DOI: 10.1111/jpn.13870
12. Sapsuha Y., Suprijatna E., Kismitai S., Sugiharto S. Combination of probiotic and phytobiotic as an alternative for growth promoter for broilers chickens- a review // *Live-stock Res Rural Dev*. 2021. 33. DOI: 10.1111/jpn.13870
13. Selaledi A.L., Mohammed Hassan Z., Manyelo T.G., Mabelebele M. The Current Status of the Alternative Use to Antibiotics in Poultry Production: An African Perspective // *Antibiotics*. 2020. Vol. 9. PP. 1–18. DOI: 10.3390/antibiotics9090594.
14. Ștefănescu R., Ciurea C.N., Mare A.D. et al. Quercus robur Older Bark – A Source of Polyphenolic Extracts with Biological Activities // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(22). PP. 1–13. DOI: 10.3390/app122211738
15. Šukele R., Skadiņš I., Koka R., Bandere D. Antibacterial effects of oak bark (*Quercus robur*) and heather herb (*Calluna vulgaris* L.) extracts against the causative bacteria of bovine mastitis // *Vet World*. 2022. Vol. 15 (9). PP. 2315–2322. DOI: 10.14202/vetworld.2022.2315-2322.
16. Tanase C., Nicolescu A., Nisca A. et al. Biological Activity of Bark Extracts from Northern Red Oak (*Quercus rubra* L.): An Antioxidant, Antimicrobial and Enzymatic Inhibitory Evaluation // *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11 (18). PP. 1–14. DOI: 10.3390/plants11182357.

REFERENCES

1. Nечитайло К.С., Сизова Е.А. Влияние мультиэнзимной кормовой добавки на показатели мясной продуктивности цыплят-бройлеров. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. VI Всеросс. (национальной) науч. конф. с междунар. уч-м, Новосибирск, 20 декабря 2021 года. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021. С. 294–296.
2. Alqhtani A.H., Al Sulaiman A.R., Alharthi A.S., Abudabos A.M. Effect of Exogenous Enzymes Cocktail on Performance, Carcass Traits, Biochemical Metabolites, Intestinal Morphology, and Nutrient Digestibility of Broilers Fed Normal and Low-Energy Corn–Soybean Diets // *Animals*. 2022. Vol. 12. PP. 1–12. DOI: 10.3390/ani12091094
3. Ayalew H., Zhang H., Wang J. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production // *Front Vet Sci*. 2022. Vol. 9. PP. 1–11. DOI: 10.3389/fvets.2022.916473.
4. Duskaev G.K., Kazachkova N.M., Ushakov A.S. et al. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens // *Veterinary world*. 2018. Vol. 11 (2). PP. 235–239. DOI: 10.14202/vetworld.2018.235-239
5. Flees J.J., Ganguly B., Dridi S. Phytogetic feed additives improve broiler feed efficiency via modulation of intermediary lipid and protein metabolism-related signaling pathways // *Poultry science*. 2021. Vol. 100 (3). PP. 1–11. DOI: 10.1016/j.psj.2020.12.060
6. Grozina, A., Vertiprakhov V., Fisinin V. Biochemical blood parameters in laying hens fed diets supplemented with dif-

- ferent vegetable oils // Proceedings of the 26th World's Poultry Congress. Book of Abstracts 2021 V. 1: Dr. Michèle Tixier-Boichard, Dr. Michel Duclos, Editors, Paris, France, 7–11 avgusta 2022 goda. – Paris: French Branch of the World's Poultry Science Association, 2022. P. 313.
7. Haque M.H., Sarker S., Islam M.S. et al. Sustainable Antibiotic-Free Broiler Meat Production: Current Trends, Challenges, and Possibilities in a Developing Country Perspective // *Biology*. 2020. Vol. 9. PP. 1–24. DOI: 10.3390/biology9110411.
 8. Hu Y.J., Cowling B.J. Reducing antibiotic use in livestock, China // *Bulletin of the World Health Organization*. 2020. Vol. 98 (5). PP. 360–361. DOI: 10.2471/BLT.19.243501.
 9. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity // *Anim Biosci*. 2021. Vol. 34 (3). PP. 345–353. DOI: 10.5713/ab.20.0842.
 10. Rafiq K., Tofazzal Hossain M., Ahmed R. et al. Role of Different Growth Enhancers as Alternative to In-feed Antibiotics in Poultry Industry // *Frontiers in veterinary science*. 2022. Vol. 8. PP. 1–9. DOI: 10.3389/fvets.2021.794588
 11. Saleh A.A., Mousa A., Amber K. et al. Effect of endo-1,4-beta-xylanase supplementation to low-energy diets on performance, blood constituents, nutrient digestibility, and gene expressions related growth of broiler chickens // *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2023. P. 1–12. DOI: 10.1111/jpn.13870
 12. Sapsuha Y., Suprijatna E., Kismitai S., Sugiharto S. Combination of probiotic and phytobiotic as an alternative for growth promoter for broilers chickens- a review // *Livestock Res Rural Dev*. 2021. 33. DOI: 10.1111/jpn.13870
 13. Selaledi A.L., Mohammed Hassan Z., Manyelo T.G., Mabelebele M. The Current Status of the Alternative Use to Antibiotics in Poultry Production: An African Perspective // *Antibiotics*. 2020. Vol. 9. PP. 1–18. DOI: 10.3390/antibiotics9090594.
 14. Ștefănescu R., Ciurea C.N., Mare A.D. et al. Quercus robur Older Bark – A Source of Polyphenolic Extracts with Biological Activities // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12 (22). PP. 1–13. DOI: 10.3390/app122211738
 15. Šukele R., Skadiņš I., Koka R., Bandere D. Antibacterial effects of oak bark (*Quercus robur*) and heather herb (*Calluna vulgaris* L.) extracts against the causative bacteria of bovine mastitis // *Vet World*. 2022. Vol. 15 (9). PP. 2315–2322. DOI: 10.14202/vetworld.2022.2315-2322.
 16. Tanase C., Nicolescu A., Nisca A. et al. Biological Activity of Bark Extracts from Northern Red Oak (*Quercus rubra* L.): An Antioxidant, Antimicrobial and Enzymatic Inhibitory Evaluation // *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11 (18). PP. 1–14. DOI: 10.3390/plants11182357.

Поступила в редакцию 25.10.2023

Принята к публикации 08.11.2023

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ГЕНОВ В ROH ОСТРОВКАХ У КУР ПОРОДЫ ЧЕШСКАЯ ЗЛОТИСТАЯ*

Михаил Григорьевич Смарагдов, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Научный Центр Животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: spbvniigen@mail.ru

Аннотация. Современные технологии позволяют идентифицировать гомозиготные районы хромосом, возникающие в результате селекции животных. В статье представлены результаты, полученные при генотипировании кур с использованием чипа Illumina Chicken 60K SNP iSelect Bead Chip. Впервые был осуществлен полногеномный анализ протяженных гомозиготных последовательностей SNPs (ROH) в геноме кур породы Чешская Золотистая. Среднее количество ROH сегментов в геноме кур составило 143 ± 8 . Установлено, что они имеют тенденцию к случайному распределению в хромосомах. Исходя из полученных данных, предложено запретить применение разрешенных гетерозиготных SNPs в ROH сегментах для предотвращения переоценки результатов ROH анализа. Рассчитанный из ROH данных средний коэффициент инбридинга у кур породы Чешская Золотистая равен $0,34 \pm 0,03$. В хромосомах кур 2, 3, 9 и 22 обнаружены ROH островки. В них расположены гены, ассоциированные с иммунитетом, деградацией нейронов, весом сумки Фабрициуса, ожирением, пигментацией пера и регуляцией генов теплового шока. Таким образом, у Чешской Золотистой породы кур селекция и сопровождающий ее инбридинг повлиял на гены, участвующие в перечисленных выше биологических процессах.

Ключевые слова: куры, полногеномный анализ, однонуклеотидный полиморфизм, инбридинг, ROH, ROH островки

FUNCTIONAL ROLE OF GENES IN ROH SITES IN CZECH GOLDEN CHICKENS

M.G. Smaragdov, PhD in Biological Sciences

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the I.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, St. Petersburg, Russia
E-mail: spbvniigen@mail.ru

Abstract. Modern technologies make it possible to identify homozygous chromosome regions that have arisen as a result of animal selection. The article presents the results obtained in the genotyping of chickens using the Illumina Chicken 60K SNP iSelect Bead Chip. For the first time, a genome-wide analysis of the extended homozygous SNP sequences (ROH) was performed in the genome of Czech Golden hens. The average number of ROH segments in the chicken genome was 143 ± 8 . ROH segments are usually randomly distributed in chicken chromosomes. It has been proposed to prohibit the use of heterozygous SNPs in ROH segments to prevent overestimation of ROH data. The average inbreeding coefficient in chickens calculated from ROH data was 0.34 ± 0.03 . ROH islands were found on chromosomes 2, 3, 9 and 22. They contain genes associated with immunity, degradation of neurons, Fabricius bursa weight, obesity, feather pigmentation, and regulation of hit-shock genes. In the Czech Golden chicken breed, selection and the associated inbreeding have therefore influenced the genes involved in several biological processes.

Keywords: chickens, genome – wide analysis, single nucleotide polymorphism, inbreeding, ROH, ROH islands

Одомашнивание кур сопровождалось селекцией, способствующей выведению большого разнообразия пород, которые отличаются по генотипу и фенотипу. Следовательно, кур можно считать идеальной моделью для генетических исследований о влиянии селекции на инбридинг и выявление генов, находящихся в районах, затронутых инбридингом. Инбридинг приводит к образованию протяженных гомозиготных последовательностей SNPs (ROH) в хромосомах животных. С появлением современных технологий (чипы, позволяющие обнаружить однонуклеотидный полиморфизм (SNP) в геноме животных) стало возможным идентифицировать в хромосомах ROH сегменты. Предложено несколько вариантов программного обеспечения сканирования генома животных для выявления ROH сегмен-

тов. [16] Такие исследования проведены у многих видов сельскохозяйственных животных. [14] На практике используют два подхода для сканирования генома – последовательное и заданной рамкой. Для обнаружения ROH у кур породы Чешская Золотистая (ЧЗ) мы применяли метод последовательного сканирования генома, так как он позволяет идентифицировать больше ROH сегментов. В результате продолжительного интенсивного инбридинга формируются ROH островки, в которых одни и те же ROH последовательности встречаются у многих животных. Анализ генов, расположенных в ROH островках может свидетельствовать о функциональном направлении селекции породы кур.

Цель работы – изучить функции генов в ROH островках у кур породы Чешская Золотистая.

* Исследование выполнено в рамках ГЗ № 124020200114-7 / The study was carried out as part of GO № 124020200114-7.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовали 16 куриц породы *Чешская Золотистая (ЧЗ)*, случайно отобранных из популяции, находящейся в генетической коллекции редких и исчезающих пород (ВНИИ генетики сельскохозяйственных животных, Санкт-Петербург). Порода ЧЗ была завезена в Россию из Чехии в 1977 году. Легкая, активная и подвижная птица с оперением цвета куропатки и грифельными ногами, относится к яичному типу. Яйценоскость за 52...56 недель жизни – 150...170 яиц. Масса яйца после 52 недели – 55...56 г. Живая масса курицы – 1,4...1,6 кг, петуха – 2,0...2,3 кг.

Куры были генотипированы чипом Illumina Chicken 60KSNP iSelect Bead Chip. Работали только с аутосомами. Контроль качества генотипирования осуществляли с помощью программного обеспечения PLINK 1.9. [15] На первом этапе были удалены SNPs с показателем качества (QS) менее 0,7, затем в SNPs данных оставили не более 5% негенотипированных SNPs, также удалили SNPs с минорной частотой аллелей (MAF) < 0,01. В результате проведения контроля качества было получено 53780 SNPs.

РОН сканирование генома кур осуществлено программой detectRUNS со следующими параметрами: последовательные прогоны по аутосомам выполняли с 20 SNP; минимальный размер РОН сегментов – 250 т.п.н.; максимальное расстояние между РОН сегментами – 1 Мб. [1] Программа позволяет выявлять РОН островки. При их обнаружении гетерозиготные SNP в РОН сегментах были запрещены. В РОН островках идентичные РОН сегменты встречались у 90% кур.

Ранг хромосом вычисляли по формуле:

$$\text{Ранг хромосомы}_i = \frac{\frac{\text{количество РОН в хромосоме } (i)}{\text{сумма всех РОН}}}{\frac{\text{длина хромосомы}(i)}{\text{сумма длин 28 хромосом}}}$$

По данным РОН рассчитывали коэффициент инбридинга:

$$F_{\text{РОН}} = L_{\text{РОН}} / L_{\text{геном}}$$

где $L_{\text{РОН}}$ – суммарная длина сегментов РОН в геноме каждой курицы; $L_{\text{геном}}$ – совокупная длина аутосом курицы покрытых SNPs.

Гены, расположенные в РОН островках, были идентифицированы из браузера Ensembl BioMart. [4] Данные транскрипционной активности – TPM в тканях курицы получали в программе GalBase. [7] Транскрипты на миллион (TPM) – метод нормализации РНК последовательностей, свидетельствующий об интенсивности транскрипции гена. Функции генов определяли из статей в PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) и Google Академия (<https://scholar.google.com/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным РОН сканирования генома кур было выявлено среднее количество 143 ± 8 РОН сегментов на курицу при условии запрета в них гетерозигот-

Таблица 1. Количество РОН сегментов в зависимости от числа разрешенных гетерозиготных SNP в РОН

Значение РОН*	Гетерозиготные SNP запрещены	Разрешен один гетерозиготный SNP	Разрешено два гетерозиготных SNP
Среднее	143 ± 8	181 ± 8	232 ± 8
Максимальное	202	246	289
Минимальное	88	118	170

Примечание. * – число кур 16.

Таблица 2. Количество РОН сегментов в пяти классах длин у 16 кур породы ЧЗ

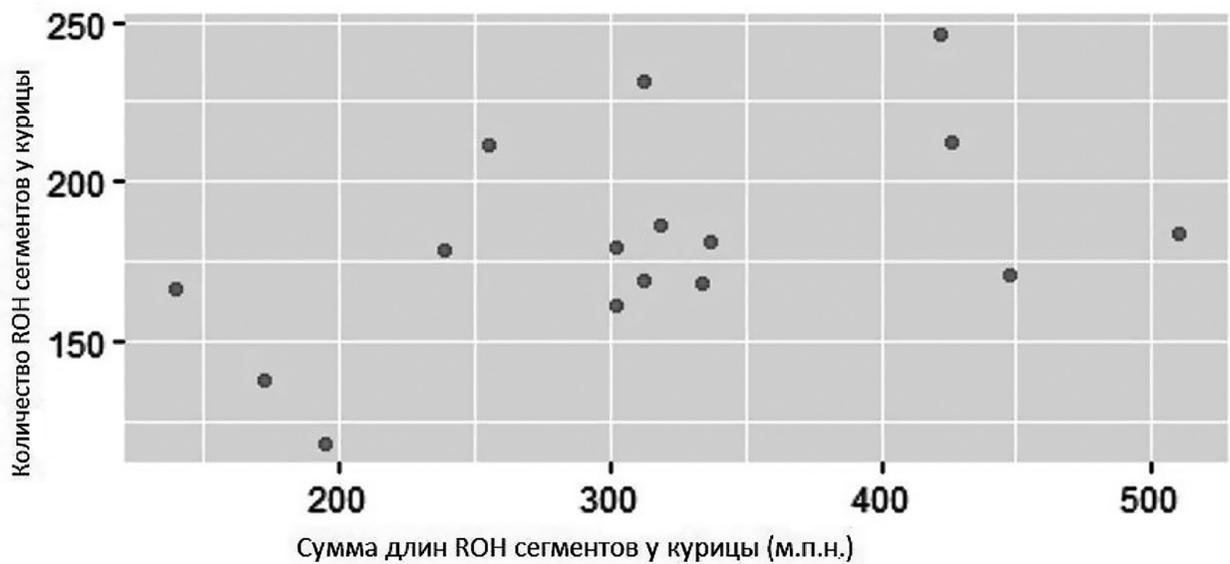
Класс длин (м.п.н.)	Гетерозиготный SNP в РОН сегментах запрещен	Разрешен один гетерозиготный SNP в РОН сегментах
0,25...2,0	1667	2264
2...4	357	357
4...8	178	178
8...16	67	76
>16	24	27

ных SNP (табл. 1). Если допускался один гетерозиготный SNP, то среднее количество РОН сегментов увеличивалось до 181 ± 8 , если два, то – 232 ± 8 . Допущение даже одного гетерозиготного SNP в РОН сегментах приводит к достоверному увеличению среднего количества РОН. Такой результат может привести к переоценке данных, так как в случае допущения гетерозиготных SNPs объединяются короткие (250...500 т.п.н.) гомозиготные РОН сегменты, которые не всегда аутозиготные. Среднее значение количества РОН сегментов (143 ± 8) для кур породы *Чешская Золотистая* значительно превышает этот показатель у других пород сохраняемых в коллекции ВНИИГРЖ – *Амрокс* ($18,9 \pm 1,5$), *Брама палевая* ($36,6 \pm 2,1$), *Корниш белый* ($40,4 \pm 1,1$), *Леггорн светло-коричневый* ($47,5 \pm 2,3$), *Пушкинская* ($68,3 \pm 2,0$), *Суссекс светлый* ($23,1 \pm 1,5$). [5] Увеличенное количество РОН сегментов, обнаруженное у кур породы *Чешская Золотистая*, приводит к большому коэффициенту инбридинга.

В таблице 2 представлены данные о количестве РОН сегментов, находящихся в разных классах длин. При допущении даже одного гетерозиготного SNP в РОН сегментах значительно увеличивается количество РОН сегментов в самом коротком классе длин – 0,25...2,0 м.п.н. Таким образом, такое допущение может привести к появлению в данных не аутозиготных РОН сегментов, то есть не обусловленных селекцией РОН.

На рисунке представлено распределение кур в зависимости от соотношения суммарной длины РОН сегментов к их количеству. Наблюдается различие (более чем в два раза) как по суммарной длине, так и количеству РОН сегментов в хромосомах. По этим показателям паттерна РОН сегментов только шесть кур (центральная область рисунка) имеют близкие значения.

Ранг хромосомы, вычисленный как отношение доли РОН сегментов в хромосоме к доле длины хромосомы в геноме, представлен в таблице 3. Он сви-



Распределение кур по соотношению суммарной длины и количеству RDN сегментов.

детельствует о плотности заполнения хромосомы RDN сегментами. В основном микрохромосомы (с номером < 10) более других заполнены RDN сегментами. Частота рекомбинации в микрохромосомах в 2,8 раза больше, чем в макрохромосомах. [12] В хромосоме 16 с наименьшей плотностью заполнения RDN сегментами расположены гены ответственные за иммунитет, включая комплекс гистосовместимости. [13] Аллели этих генов имеют тенденцию к гетерозиготности. Возможно, это объясняет наименьшее число RDN сегментов в хромосоме.

Коэффициент корреляции между долей количества RDN сегментов в хромосоме от их общего числа в 28 хромосомах и долей длины хромосомы от их суммарной длины характеризует тип заполнения хромосом RDN сегментами. Рассчитанная корреляция по Пирсону составляет 0,99 ($P = 8,8E-23$), Спирмену – 0,94 ($P = 2,0E-7$). Такие высокие значения коэффициента корреляции свидетельствуют об общей тенденции к случайному распределению RDN сегментов в 28 хромосомах кур. Хромосома 16 – исключение из общей закономерности.

Средний коэффициент инбридинга у кур породы ЧЗ равен $0,34 \pm 0,03$. Такой результат может быть следствием малочисленности ЧЗ популяции кур сохраняемой в генетической коллекции редких и исчезающих пород ВНИИГРЖ. Для сравнения средний коэффициент инбридинга у других пород из коллекции ВНИИГРЖ: Амрокс – $0,105 \pm 0,009$, Брама палевая – $0,167 \pm 0,015$, Корниш белый – $0,055 \pm 0,007$, Леггорн светло-коричневый – $0,167 \pm 0,011$, Пушкин-

ская – $0,112 \pm 0,009$, Русская белая – $0,307 \pm 0,014$, Суссекс светлый – $0,127 \pm 0,003$. [5]

В хромосомах GGA2, GGA3, GGA9 и GGA22 были найдены четыре RDN островка. Их длина (93...403 т.п.н.) характерна для многих пород кур. [19, 21]

В хромосоме GGA2 в районе 143452130 ... 143696199 п.н. расположен RDN островок, включающий ген альфа последовательность коллагена типа XXII (COL22A1). Наибольшая транскрипционная активность этого гена обнаружена в проксимальной передней конечности, TPM = 36, коже – 32 и сетчатке глаз, TPM = 37. [7] Он был ассоциирован с целостностью тканей и клеточной адгезией. Считают, что у людей мутации в гене COL22A1 могут приводить к фиброзу легких и кожи. [22]

В хромосоме GGA3 (район 61542241 ... 61634781 п.н.) есть RDN островок, включающий ген TBC1 домен член семейства 32 (TBC1D32). Наибольшая транскрипционная активность обнаружена в мозге, TPM = 24, семенниках – 27, сетчатке глаз – 37, эмбрионе – 37 и голени, TPM = 37. [6] У ресурсных кур в F2 поколении ген TBC1D32 был ассоциирован с весом сумки Фабрициуса. [18]

Еще один ген ENS1 (другое название ядерный сигнал 1 для эндоплазматического ретикулума (ERN1)) тоже находится в этом RDN островке. Установлено, что он экспрессирует в эмбриональных яичниках и семенниках кур, а также в эмбриональных стволовых клетках. По мере дифференцировки стволовых клеток экспрессия гена ENS1 уменьшается. [9]

Таблица 3.

Ранг хромосом у кур породы ЧЗ

Хромосома	25	23	22	27	26	17	20	28	11	19
Ранг	0,874	0,853	0,823	0,739	0,667	0,643	0,625	0,601	0,590	0,511
Хромосома	24	18	21	12	10	15	7	6	9	14
Ранг	0,504	0,460	0,425	0,414	0,406	0,397	0,385	0,369	0,350	0,349
Хромосома	8	13	1	2	4	3	5	16		
Ранг	0,341	0,317	0,292	0,266	0,265	0,260	0,260	0,110		

В хромосоме GGA9 (17727833...17952104 п.н.) расположен ROH островок с геном X-сцепленный рецептор 1 трансдукции бета 1 (*TBL1XR1*). Наибольшая транскрипционная активность гена обнаружена в сумке Фабрициуса, TPM = 118 и голени, TPM = 77. [7] У кур породы *Ghana* он был ассоциирован с иммунным ответом на заражение вирусом болезни Ньюкасла. [20] У человека ген *TBL1XR1* связан с множественными нарушениями развития и несколькими неврологическими проявлениями. [11]

В хромосоме GGA22 (454878...516797 п.н.) найден ROH островок, включающий несколько генов. Один из них переносчик растворенного вещества семейства 23, члена 2 (*SLC23A2*) – трансмембранный транспортер. Он максимально транскрибируется в мозге, TPM = 146, сетчатке глаз – 106 и голени, TPM = 122. [7] Известно, что ген *SLC23A2* влияет на пигментацию пера у китайских пород кур. [8]

Другой ген *Ras* ассоциированный домен, член семейства 2 (*RASSF2*) максимально транскрибируется в коже, TPM = 177, селезенке – 195 и сумке Фабрициуса, TPM = 184. Этот ген у человека – супрессор рака легкого, у мышей – регулирует дифференцировку остеобластов и остеокластов, ингибируя передачу сигналов NF-κB. [3, 17]

Еще один ген прионный белок (*PRNP*) расположен в этом ROH островке. Его максимальная транскрипционная активность наблюдается в мозжечке, TPM = 752. Прионные заболевания были зарегистрированы у нескольких млекопитающих-хозяев, но у кур обнаружена устойчивость к экспериментальной прионной инфекции. Установлено, что у перепела ген *PRNP* регулирует деградацию нейронов. [10]

Неклассические гены теплового шока служат для защиты клеток от вредных стрессов. Ген проминин 2 (*PROM2*) участвует в регуляции таких генов у мышей и кур. [6] Его максимальная транскрипционная активность наблюдается в фолликулах, TPM = 293. Еще один ген в этом ROH островке – дигидропиримидиназа 2 (*DPYSL2*), участвует в формировании ожирения у кур. [2] Его максимальная транскрипция в мозге, TPM = 1250.

ROH островки можно рассматривать как индикаторы обусловленного селекцией инбридинга. У кур породы *ЧЗ* находятся гены ответственные за иммунитет (*TBL1XR1*), вес сумки Фабрициуса (*TBC1D32*), ожирение (*DPYSL2*), пигментацию пера (*SLC23A2*), регуляцию «хит шоковых» генов (*PROM2*) и деградацию нейронов (*PRNP*). Таким образом, перечисленные выше признаки были затронуты селекцией у кур породы *ЧЗ*. Исходя из данных в опубликованных статьях, ROH островки у кур других пород не совпадают по локализации с найденными в нашем исследовании, что свидетельствует об их уникальности для *Чешской Золотистой* породы кур.

Выводы. В геноме кур породы *ЧЗ* выявлены ROH сегменты. Среднее количество ROH на курицу – 143 ± 8. Установлена тенденция случайного распределения ROH сегментов в хромосомах кур. Коэффициент инбридинга, вычисленный исходя из ROH данных, оказался высоким (0,34 ± 0,03), по сравнению с другими породами, сохраняемыми

в коллекции ВНИИГРЖ. В хромосомах кур GGA2, GGA3, GGA9 и GGA22 обнаружены ROH островки. Гены, локализованные в них, участвуют в иммунитете, деградации нейронов, степени ожирения птицы и пигментации пера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Biscarini F., Cozy P., Gaspa G., Maras G. detectRUNS: An R package to detect runs of homozygosity and heterozygosity in diploid genomes. CRAN (The Compr. R Arch. Network, 2019).
2. Byerly M.S., Simon J., Cogburn L.A. et al. Transcriptional profiling of hypothalamus during development of adiposity in genetically selected fat and lean chickens // *Physiol. Genomics*. 2010. Vol. 42 (2). P. 157–167. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00029.2010>
3. Cooper W.N., Dickinson R.E., Dallol A. et al. Epigenetic regulation of the ras effector/tumour suppressor RASSF2 in breast and lung cancer // *Oncogene*. 2008. Vol. 27 (12). P. 1805–1811. <https://doi.org/10.1038/sj.onc.1210805>
4. Cunningham F., Allen J.E., Allen J. et al. Ensembl // *Nucleic Acids Res.* 2022. Vol. 50 (1). Article D988-D995. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1049>
5. Dementieva N.V., Kudinov A.A., Larkina T.A. et al. Genetic Variability in Local and Imported Germplasm Chicken Populations as Revealed by Analyzing Runs of Homozygosity // *Animals*. 2020. Vol. 10 (10). Article 1887. <https://doi.org/10.3390/ani10101887>
6. Fujimoto M., Nakai A. The heat shock factor family and adaptation to proteotoxic stress // *FEBS J.* 2010. Vol. 277. P. 4112–4125. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2010.07827.x>
7. Fu W., Wang R., Xu N. Galbase: a comprehensive repository for integrating chicken multi-omics data // *BMC Genomics*. 2022. Vol. 23 (1). Article 364. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08598-2>
8. Huang X., Otecko N.O., Peng M. et al. Genome-wide genetic structure and selection signatures for color in 10 traditional Chinese yellow-feathered chicken breeds // *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21. Article 316. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6736-4>
9. Intarapat S., Stern C.D. Sexually dimorphic and sex-independent left-right asymmetries in chicken embryonic gonads // *PloS ONE*. 2013. Vol. 8. Article e69893. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069893>
10. Kim Y., Kim Y.C., Jeong B.H. et al. Novel Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) and Genetic Features of the Prion Protein Gene (PRNP) in Quail (*Coturnix japonica*) // *Front. Vet. Sci.* 2022. Vol. 9. Article 870735. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.870735>
11. Mastrototaro G., Zaghi M., Massimino L. et al. TBL1XR1 Ensures Balanced Neural Development Through NCOR Complex-Mediated Regulation of the MAPK Pathway // *Front. Cell Dev. Biol.* 2021. Vol. 9. Article 641410. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.641410>
12. Megens H.J., Crooijmans R.P., Bastiaansen J.W. et al. Comparison of linkage disequilibrium and haplotype diversity on macro- and microchromosomes in chicken // *BMC Genetics*. 2009. Vol. 10. Article 86. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-10-86>
13. Miller M.M., Taylor R.L. Brief review of the chicken Major Histocompatibility Complex: the genes, their distribution on chromosome 16, and their contributions to disease resistance // *Poultry Sci.* 2016. Vol. 95 (2). P. 375–392. <https://doi.org/10.3382/ps/pev379>

14. Peripolli E., Munari D., Silva M. et al. Runs of homozygosity: current knowledge and applications in livestock // Anim. Genet. 2016. Vol. 48 (3). P. 255–271. <https://doi.org/10.1111/age.12526>
15. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K. et al. PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses // Am. J. Hum. Genet. 2007. Vol. 81. P. 559–575. <https://doi.org/10.1086/519795>
16. Smaragdov M.G. Identification of homozygosity-rich regions in the Holstein genome // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2023. Vol. 27 (5). P. 471–479. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-57>
17. Song H., Kim H., Lee K. et al. Ablation of Rassf2 induces bone defects and subsequent haematopoietic anomalies in mice // EMBO J. 2012. Vol. 31 (5). P. 1147–1159. <https://doi.org/10.1038/emboj.2011.480>
18. Sun Y., Li Q., Hu Y. Genomewide association study of immune traits in chicken F2 resource population // J. Anim. Breed. Genet. 2016. Vol. 133 (3). P. 197–206. <https://doi.org/10.1111/jbg.12186>
19. Tian S., Tang W., Zhong Z. Identification of Runs of Homozygosity Islands and Functional Variants in Wenchang Chicken // Animals 2023. Vol. 13 (10). Article 1645. <https://doi.org/10.3390/ani13101645>
20. Walugembe M., Amuzu-Aweh E.N., Botchway P.K. et al. Genetic Basis of Response of Ghanaian Local Chickens to Infection with a Lentogenic Newcastle Disease Virus // Front. Genet. 2020. Vol. 11. Article 739. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00739>
21. Wang H., Wang Q., Tan X. et al. Estimation of genetic variability and identification of regions under selection based on runs of homozygosity in Beijing-You Chickens // Poultry Sci. 2023. Vol. 102 (2). Article 102342. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102342>
22. Watanabe T., Baker Frost D.A., Mlakar L. A Human Skin Model Recapitulates Systemic Sclerosis Dermal Fibrosis and Identifies COL22A1 as a TGF_ Early Response Gene that Mediates Fibroblast to Myofibroblast Transition // Genes 2019. Vol. 10. Article 75. <https://doi.org/10.3390/genes10020075>

*Поступила в редакцию 11.01.2024
Принята к публикации 25.01. 2024*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДОКЛИНИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ЖИВОТНЫХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Эмиль Касымович Рахматуллин, доктор ветеринарных наук
Ильнур Равилевич Кадиков, доктор биологических наук
Екатерина Ивановна Куршакова, кандидат биологических наук
Даниль Рустамович Сагдеев, кандидат ветеринарных наук
Андрей Александрович Корчемкин, кандидат биологических наук
Искандер Фоатович Вафин, кандидат биологических наук
Гульнара Габитовна Галяутдинова, кандидат биологических наук
Андрей Валериянович Маланьев, кандидат биологических наук
Гузалия Рустамовна Ямалова, младший научный сотрудник
Кадрия Фагимовна Халикова, кандидат ветеринарных наук

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности РФ,
г. Казань, Республика Татарстан, Россия
E-mail: amil59@yandex.ru

Аннотация. Ресурсосберегающая технология в сельском хозяйстве – использование в рационе кормления животных стимулирующих добавок, способствующих лучшему усвоению корма. Одна из мер профилактики токсикозов в промышленном животноводстве и птицеводстве – определение токсичности кормов. Многообразие существующих методик позволяет на начальном этапе установить уровень и класс токсичности препарата. В разработанной классификации для ветеринарных препаратов применяются коэффициент кумуляции, индекс широты терапевтического и дозовый уровень токсического действия, что позволяет на стадии доклинического изучения кормовых добавок прогнозировать характер и степень их опасности. Для определения перечисленных показателей необходимо установить LD_{50} и коэффициент кумуляции. Так как кормовые добавки вводят в организм животных через пищеварительный тракт, то при проведении доклинических исследований их классифицируют по гепатотоксическому действию. Маркеры – содержащиеся в крови билирубин, альбумин, активность ферментов (глутаматдегидрогеназа, аланинаминотрансфераза, аспаратаминотрансфераза, щелочная фосфатаза и соотношение аланинаминотрансферазы к щелочной фосфатазе). Необходимо определить коэффициент де Ритиса, Шмидта и индекс R. Это позволит свести к минимуму поступление токсичных кормовых добавок в организм животных и будет способствовать росту их продуктивности.

Ключевые слова: сельскохозяйственные животные, кормовая добавка, доклиническое исследование, химическая продукция, токсичность, глюкоза, билирубин, ферменты, коэффициент де Ритиса, коэффициент Шмидта

MODERN PROBLEMS OF PRECLINICAL STUDYING FEED ADDITIVES FOR ANIMALS AND WAYS TO SOLVE THEM

E.K. Rakhmatullin, *Grand PhD in Veterinary Sciences*
I.R. Kadikov, *Grand PhD in Biological Sciences*
E.I. Kurshakova, *PhD in Biological Sciences*
D.R. Sagdeev, *PhD in Veterinary Sciences*
A.A. Korchemkin, *PhD in Biological Sciences*
I.F. Vafin, *PhD in Biological Sciences*
G.G. Galyautdinova, *PhD in Biological Sciences*
A.V. Malanov, *PhD in Biological Sciences*
G.R. Yamalova, *Junior Researcher*
K.F. Khalikova, *PhD in Veterinary Sciences*

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety of the Russian Federation,
Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: amil59@yandex.ru

Abstract. Resource-saving technology in agriculture is the use of stimulating additives in animal feeding rations that promote better absorption of feed. One of the measures to prevent toxicosis in industrial livestock and poultry farming is to determine the toxicity of feed. The variety of existing methods makes it possible to determine the level and class of drug toxicity at the initial stage. In the developed classification for veterinary drugs, the cumulation coefficient, therapeutic breadth index and dose level of toxic effect are used, which makes it possible to predict the nature and degree of their danger at the stage of preclinical study of feed additives. To determine the listed indicators, it is necessary to establish LD_{50} and the cumulation coefficient. Since feed additives are introduced into the body through the digestive tract, during preclinical studies they are studied and classified according to their hepatotoxic effect. Bilirubin, albumin, and enzyme activity contained in the blood (glutamate dehydrogenase, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase, and the ratio of alanine aminotransferase to alkaline phosphatase) are used as markers. It is necessary to determine the de Ritis, Schmidt coefficient and the R index. This will minimize the intake of toxic feed additives into the animals' bodies and will contribute to an increase in their productivity.

Keywords: farm animals, feed additive, preclinical study, chemical products, toxicity, glucose, bilirubin, enzymes, de Ritis coefficient, Schmidt coefficient

Для укрепления продовольственной независимости Российской Федерации необходимо развивать отрасли агропромышленного комплекса, обеспечивать правильную организацию сельскохозяйственного производства, контролируя безопасность кормовых добавок для животных.

По данным ФАО, в 2050 году численность населения мира достигнет 9,6 млрд чел. и спрос на продукцию животноводства увеличится на 70%. [16] Следует принимать меры по улучшению продуктивности животных. Для качества и полноты рационов применяют различные добавки и биологически активные вещества природного и синтетического происхождения. Введение стимулирующих кормовых добавок способствует усвоению корма, относится к ресурсосберегающим технологиям в сельском хозяйстве. Кормовые добавки могут активизировать обменные процессы, обладают детоксицирующими, лечебно-профилактическими свойствами, их качество — важное условие повышения продуктивности сельскохозяйственных животных, наряду с их генетическим потенциалом, санитарно-гигиеническими условиями содержания и квалифицированным ветеринарным надзором. Все это в комплексе отвечает за общую токсичность кормов, то есть способность вещества или продукта в нормальных дозировках вызывать негативную реакцию у живого организма. Одна из мер профилактики токсикозов животных и птиц — заблаговременное определение токсичности кормов и кормовых добавок. [3, 13, 14] Проведение доклинических исследований (ДКИ) — обязательная процедура для занесения кормовой добавки в Государственный реестр, регистрации в Россельхознадзоре. Все действия необходимо выполнять согласно Правилам гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с Директивой 2010/63/US от 22 сентября 2010 года. [19] Содержание и уход за экспериментальными животными должен соответствовать ГОСТ 33216-2014. [6]

Цель работы — анализ методов доклинического исследования кормовых добавок для предотвращения попадания токсинов в организм животных.

Существуют руководства, стандартные методические указания по организации и проведению доклинических исследований медицинских препаратов, в отношении ветеринарных до недавнего времени такие правила отсутствовали. Нормативные документы в области доклинического изучения кормовых добавок — Приказ министерства сельского хозяйства России от 06.03.2018 № 101 и ГОСТ 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики». [5, 15]

ДКИ кормовых добавок включает определение общей и репродуктивной токсичности, тератогенности, аллергенности, иммунотоксичности, фармакокинетики, фармакодинамики, мутагенности, канцерогенности. Исследования проводят на лабораторных животных с подробным отчетом о способах введения и применяемых концентрациях. Также устанавливают предполагаемые дозы для продуктивных животных. Важный показатель при доклиническом испытании кормовых добавок — определение среднесмертельной дозы или концентрации. Многообразие методик позволяет на начальном этапе узнать характер действия, сте-

пень и класс токсичности препарата. Для предварительной оценки острой токсичности наиболее удобно определять LD_{50} по Deichmann и Le Blanc (1943). [18] Не все используемые в лекарственной токсикологии методы подходят для оценки LD_{16} , LD_{84} и LD_{99} , с помощью которых можно установить степень опасности препарата, зону его токсического действия. Изучение симптомов интоксикации лабораторных животных помогает получить информацию о характере действия будущего препарата, избирательность токсического влияния кормовых добавок.

Существует методика определения острой токсичности химической продукции. [12] Ее применение недопустимо, так как в ГОСТе 32419-2013 «Классификация опасности химической продукции» содержится положение о том, что требования стандарта не распространяются на готовые лекарственные средства и препараты ветеринарного назначения. [8] В связи с этим отсутствует необходимость в ГОСТе 32296-2013 «Методы испытаний по воздействию химической продукции на организм человека. Основные требования к проведению испытаний по оценке острой токсичности при внутрижелудочном поступлении методом фиксированной дозы». Данный метод основан на введении животным серий фиксированных доз и не позволяет определить среднюю величину смертельной дозы. [4] Игнорирование ГОСТов 12.0007-76 и замена ГОСТами для изучения химической продукции приводит к получению необъективной информации при токсикологическом изучении кормовых добавок. [7]

Разработана наиболее оптимальная классификация степени опасности токсического действия ветеринарных препаратов (ГОСТ 12.1.007-76), в которой рекомендовано использовать коэффициент кумуляции, индекс широты терапевтического действия (LD_{50} /терапевтическая доза). Дозовый уровень токсического действия в эксперименте помогает прогнозировать его характер и степень на стадии доклинического изучения кормовых добавок. [16] Для определения перечисленных показателей необходимо определить LD_{50} и коэффициент кумуляции.

Важный этап доклинических токсикологических исследований КД — изучение хронической, субхронической токсичности и кумулятивных свойств. [1]

Существующие классификации оценки кумулятивного эффекта промышленных ядов и пестицидов не отвечают задачам, решаемым при ДКИ ветеринарных препаратов и кормовых добавок.

Разделяют материальный, функциональный и смешанный виды кумуляции. Для предварительной оценки функциональной кумуляции определяют коэффициент кумуляции по методу С.П. Черкинского. [2] Степень функциональной кумуляции находят методами, предусматривающими ежедневное введение в организм животного одинаковых доз препарата, взятых в определенных частях (1/10, 1/20, 1/50) от среднесмертельной дозы. При этом каждое животное получает суммарно в течение двух-четырех месяцев 10, 5 и 2 LD_{50} вещества соответственно.

Материальная кумуляция — это накопление в организме токсикантов. Такой вид характерен для длительно действующих ксенобиотиков, которые медленно элиминируют из-за связывания в орга-

низме с различными биосубстратами. Кумулятивное действие кормовых добавок во многом зависит от токсикокинетических факторов (процессы всасывания, биотранспорт, распределение, биотрансформация и экскреция из организма). Количественную оценку кумулятивного действия КД можно проводить с одним из существующих методических приемов, в зависимости от задачи исследования. Наиболее адекватный критерий показателя – величина суточного элиминирования (процент к введенной дозе). Зная ее, можно определить время, через которое в организме будет накапливаться токсическая или смертельная доза препарата.

Так как КД попадают в организм через пищеварительный тракт и печень, при проведении доклинических исследований необходимо классифицировать их по гепатотоксическому действию.

При доклиническом изучении токсичности кормовых добавок обязательно биохимическое исследование крови животных для оценки степени поражения органов. Состав крови чувствителен к изменениям, происходящим в организме. Важно оценивать не резкие, патологические изменения в обмене веществ у животных, а незначительные сдвиги, происходящие в пределах физиологической нормы. [17]

Изучая биохимические параметры крови (общий белок и его фракции, индекс АГ, мочевины и креатинина, ферменты переаминирования АсАТ и АлАТ, гемоглобин, эритроциты и среднее содержание гемоглобина в эритроците), можно диагностировать функциональное состояние систем и органов организма, выявить воспалительные процессы, дисбаланс микроэлементов и нарушение водно-солевого обмена.

Гепатотоксическое действие кормовых добавок на подопытных животных определяют по коэффициентам де Ритиса (АсАТ / АлАТ), Шмидта (КШ) и индексу R. [19] Коэффициент Шмидта рассчитывают по формуле:

$$K_{Ш} = \frac{AcAT + AlAT}{ГлДГ}$$

где АсАТ – аспаратаминотрансфераза, Е/л; АлАТ – аланинаминотрансфераза, Е/л; ГлДГ – глутаматдегидрогеназа, Е/л.

Индекс R – отношение активности АлАТ и щелочной фосфатазы (ЩФ). [11]

АлАТ и АсАТ – внутриклеточные ферменты, участвующие в реакциях трансаминирования и непосредственного дезаминирования аминокислот. Наибольшая активность АлАТ – в гепатоцитах, АсАТ – в сердечной мышце, меньшая – в печени и других органах. АлАТ присутствует только в цитоплазме, АсАТ – в митохондриях (80% печеночного АсАТ) и цитоплазме. Соотношение АсАТ/АлАТ обычно составляет 2,5/1. Но при нормальном обновлении гепатоцитов активность АсАТ и АлАТ в сыворотке крови практически одинакова. Период полувыведения АсАТ в два раза короче (18 ч), чем АлАТ (36). [10] Увеличение коэффициента де Ритиса свидетельствует о хронических процессах, связанных с поражением паренхимы печени вследствие интоксикации организма. [20]

Повышение активности ферментов переаминирования отражает повреждение и гибель гепатоцитов. Активность ферментов может нарушаться в результате физиологических изменений и из-за патологических процессов, сопровождающихся повышением проницаемости мембран. Ферменты печени находятся в мембране, цитоплазме или митохондриях гепатоцитов. Изменение активности ферментов, расположенных в мембране или цитоплазме гепатоцитов (лактатдегидрогеназа, аминотрансферазы и щелочная фосфатаза), характерно для острого процесса, поражение митохондриальных ферментов (глутаматдегидрогеназа, митохондриальная АсАТ) свидетельствует о развитии некроза печени.

Абсолютно специфических маркеров для диагностики заболеваний печени не существует, так как ферменты присутствуют в клетках различных органов и тканей. Для диагностики поражения тканей печени важно определить изменения активности различных ферментов и их соотношения. Лекарственное поражение печени может быть гепатоцитарным, холестатическим и смешанным. [10]

Совет международных организаций «СIOMS» предложил классифицировать типы поражения печени на основании изменений активности АлАТ, щелочной фосфатазы и R-индекса (см. таблицу). [11]

Если при введении эффективной (терапевтической) дозы происходит повышение активности АлАТ и АсАТ в 1,5...5,0 раза, по сравнению с верхней границей нормы, это соответствует умеренной гиперферментемии, 6...10 раз – средней, более, чем в 10 раз – высокой. Повышение активности АлАТ и АсАТ свидетельствует о выраженности синдрома цитолиза, но прямо не указывает на глубину нарушения функции печени. [9]

Гепатоцитарный тип поражения печени характеризуется повышением активности АлАТ более чем в два раза относительно ВПФН (АлАТ/ЩФ ≥ 5), холестатический – ростом активности щелочной фосфатазы более чем в два раза (АлАТ/ЩФ ≤ 2), смешанный – повышением активности АлАТ и ЩФ более чем в два раза (АлАТ/ЩФ – 2...5 раз). Гепатоцитарное поражение чаще других видов (холестатический и смешанный) характеризуется тяжелым течением. [10] Выявление вышеперечисленных изменений при доклиническом изучении кормовой добавки на лабораторных и целевых животных будет свидетельствовать о ее гепатотоксическом действии.

Таким образом, при проведении токсикологического исследования КД необходимо изучить их безопасность и гепатотоксичность. Это позволит минимизировать поступление токсинов в организм животных и будет способствовать росту их продуктивности.

Тип поражения печени

Тип	R	Активность	
		ЩФ	АлАТ
Гепатоцитарный	>5	<ВПФН	>2 x ВПФН
Холестатический	<2	>2 x ВПФН	<ВПФН
Смешанный	2-5	>2 x ВПФН	>2 x ВПФН

Примечание. R = АлАТ / ЩФ; ВПФН – верхний предел физиологической нормы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Арзамасцев Е.В., Гуськова Т.А., Березовская И.В. и др. Методические указания по изучению общетоксического действия фармакологических веществ // Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М.: ОАО Издательство «Медицина», 2005. С. 41–54.
2. Гелашвили Д.Б., Безель В.С., Романова Е.Б. и др. Принципы и методы экологической токсикологии / Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2015. 192 с.
3. Головня Е.Я. Интегральная оценка токсичности кормов и кормовых добавок: дис. ... канд. биол. наук. 2003. 138 с.
4. ГОСТ 32296-2013 «Методы испытаний по воздействию химической продукции на организм человека. Основные требования к проведению испытаний по оценке острой токсичности при внутривенном поступлении методом фиксированной дозы». М.: Стандартинформ, 2014
5. ГОСТ 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики» от 20 ноября 2014 года. docs.cntd.ru.
6. ГОСТ 33216-2014. «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами». М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.
7. ГОСТ 12.1.007-76. «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности». М.: Стандартинформ, 2007.
8. ГОСТ 32419-2013 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования». М.: Стандартинформ, 2014.
9. Давыдова А.В. Клиническая интерпретация биохимического анализа крови при заболеваниях печени: учебное пособие для студентов / ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России. Иркутск: ИГМУ, 2013. С. 7–9.
10. Дорофейков В.В., Борисова И.В., Тарасова М.А. и др. Лабораторная диагностика лекарственно-индуцированных поражений печени при беременности // Трансляционная медицина. 2017. № 4 (3). С. 35–44. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2017-4-3-35-44>.
11. Ивашкин В.Т., Барановский А.Ю., Райхельсон К.Л. и др. Лекарственные поражения печени (клинические рекомендации для врачей) // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2019. № 29 (1). С. 101–131. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-1-101-131>.
12. Каргопольцева Д.Р., Крышень К.Л., Макарова М.Н., Макаров В.Г. Регуляторные и методические аспекты доклинических и клинических исследований кормовых добавок для животных. Лабораторные животные для научных исследований. 2018. № 3. <https://doi.org/10/29926/2618723X-2018-03-11>.
13. Кошаев А.Г., Гранкина Н.А., Борисенко В.В., Николаенко В.И. Изучение токсикологического действия пробиотической кормовой добавки // Молодой ученый. 2015. № 5.1. С. 12–14.
14. Лысенко Ю.А., Лунева А.В. Изучение влияния пробиотической кормовой добавки «Промомикс С» на продуктивность и биобезопасность продукции птицеводства // ScienceTime. 2014. № 5 (5). С. 112–122.
15. Приказ Минсельхоза от 6 марта 2018 г. № 101 «Об утверждении правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, ис-

следования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения».

16. Рахматуллин Э.К., Скляр О.Д. Изучение токсичности ветеринарных препаратов на доклиническом этапе // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 5. С. 61–64.
17. Таранов М.Т. Изучение сдвигов обмена веществ у животных // Животноводство. 1983. № 9. С. 49–50.
18. Deichmann W. B. et al. Determination of the approximate lethal dose with about six animals J. Ind. Hyg. Toxicol. (1943)
19. Directive 2010/63/EU of The European Parliament and of The Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, L 276/52.
20. The De Ritis Ratio: The Test of Time Mona Botros, Kenneth A Sikaris Clin Biochem Rev. 2013. V. 34 (3). PP. 117–130.

REFERENCES

1. Arzamascev E.V., Gus'kova T.A., Berezovskaya I.V. i dr. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu obshchetoksičeskogo dejstviya farmakologičeskikh veshchestv // Rukovodstvo po eksperimental'nomu (dokliničeskomu) izucheniyu novyh farmakologičeskikh veshchestv. M.: OAO Izdatel'stvo "Medicina", 2005. S. 41–54.
2. Gelashvili D.B., Bezel' V.S., Romanova E.B. i dr. Principy i metody ekologičeskoj toksikologii / Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet. 2015. 192 s.
3. Golovnya E.Ya. Integral'naya ocenka toksičnosti kormov i kormovyh dobavok: dis. ... kand. biol. nauk. 2003. 138 s.
4. GOST 32296-2013 «Metody ispytaniy po vozdejstviyu himičeskoj produkcii na organizm čeloveka. Osnovnye trebovaniya k provedeniyu ispytaniy po ocenke ostroj toksičnosti pri vnutrizheludochnom postuplenii metodom fiksirovannoj dozy». M.: Standartinform, 2014.
5. GOST 33044-2014 «Principy nadležashchej laboratornoj praktiki» ot 20 noyabrya 2014 goda. docs.cntd.ru.
6. GOST 33216-2014. «Rukovodstvo po sodержaniyu i uhodu za laboratornymi zhivotnymi. Pravila sodержaniya i uhoda za laboratornymi gryzunami i krolikami». M.: Standartinform, 2019. 15 s.
7. GOST 12.1.007-76. «Vrednye veshchestva. Klassifikaciya i obshchie trebovaniya bezopasnosti». M.: Standartinform, 2007.
8. GOST 32419-2013 «Klassifikaciya opasnosti himičeskoj produkcii. Obshchie trebovaniya». M.: Standartinform, 2014.
9. Davydova A.V. Kliničeskaya interpretaciya biohimičeskogo analiza krovi pri zabolovaniyah pečeni: uchebnoe posobie dlya studentov / GBOU VPO IGMU Minzdrava Rossii. Irkutsk: IGMU, 2013. S. 7–9.
10. Dorofejkov V.V., Borisova I.V., Tarasova M.A. i dr. Laboratornaya diagnostika lekarstvenno-inducirovannyh porazhenij pečeni pri beremennosti // Translyacionnaya medicina. 2017. № 4 (3). S. 35–44. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2017-4-3-35-44>.
11. Ivashkin V.T., Baranovskij A.YU., Rajhel'son K.L. i dr. Lekarstvennye porazheniya pečeni (kliničeskie rekomendacii dlya vrachej) // Rossijskij zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii. 2019. № 29 (1). S. 101–131. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-1-101-131>.
12. Kargopol'ceva D.R., Kryshen' K.L., Makarova M.N., Makarov V.G. Re-gulyatornye i metodicheskie aspekty dokliničeskikh i kliničeskikh issledovanij kormovyh dobavok dlya zhivotnyh. Laboratornye zhivotnye dlya nauchnyh issledovanij. 2018. № 3. <https://doi.org/10/29926/2618723X-2018-03-11>.

13. Koshchaev A.G., Grankina N.A., Borisenko V.V., Nikolaenko V.I. Izuchenie toksikologicheskogo dejstviya probioticheskoj kormovoj dobavki // Molodoj uchenyj. 2015. № 5.1. S. 12–14.
14. Lysenko Yu.A., Luneva A.V. Izuchenie vliyaniya probioticheskoj kormovoj dobavki «Promomiks S» na produktivnost' i biobezopasnost' produkcii pticevodstva // ScienceTime. 2014. № 5 (5). S. 112–122.
15. Prikaz Minsel'hoza ot 6 marta 2018 g. № 101 "Ob utverzhdenii pravil provedeniya doklinicheskogo issledovaniya lekarstvennogo sredstva dlya veterinarnogo primeneniya, klinicheskogo issledovaniya lekarstvennogo preparata dlya veterinarnogo primeneniya, issledovaniya bioekvivalentnosti lekarstvennogo preparata dlya veterinarnogo primeneniya".
16. Rahmatullin E.K., Sklyarov O.D. Izuchenie toksichnosti veterinarnyh preparatov na doklinicheskom etape // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2019. № 5. S. 61–64.
17. Taranov M.T. Izuchenie sdvigov obmena veshchestv u zhivotnyh // Zhivotnovodstvo. 1983. № 9. S.49-50.
18. Deichmann W. B. et al. Determination of the approximate lethal dose with about six animals J. Ind. Hyg. Toxicol. (1943)
19. Directive 2010/63/EU of The European Parliament and of The Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, L 276/52.
20. The De Ritis Ratio: The Test of Time Mona Botros, Kenneth A Sikaris Clin Biochem Rev. 2013. V. 34 (3). PP. 117–130.

Поступила в редакцию 01.02.2024

Принята к публикации 15.02.2024

АНАЛИЗ ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО ЭЙМЕРИОЗУ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*

Владимир Николаевич Домацкий, доктор биологических наук, профессор

Елена Ивановна Сивкова, кандидат биологических наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии
и арахнологии-филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
федерального исследовательского центра Тюменского научного центра
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Тюмень, Россия
E-mail: sivkovaei@mail.ru*

Аннотация. Цель исследования – провести обзор распространения эймериоза крупного рогатого скота на территории Российской Федерации. Кокцидиозы часто встречаются во многих регионах России и в других странах мира. Возбудители – более 10 видов эймерий, которые имеют специфическую локализацию в организме животных, а также морфологические отличия друг от друга. *E. zuernii*, *E. bovis* и *E. alabamensis* характеризуются наиболее высокой патогенностью и чаще всего ассоциируются с клиническим проявлением заболевания. Болеет преимущественно молодняк в возрасте от двух недель до года, у взрослых животных отмечают бессимптомную форму инвазии. У многих животных эймерии вызывают опасные болезни, сопровождающиеся снижением продуктивности, рождением слабого приплода, нередко гибелью молодняка, дополнительными затратами корма на единицу продукции. На животноводческих комплексах заболеваемость телят эймериозом составляет 10–100%, смертность – 25–60%. Максимальная зараженность телят и взрослых животных отмечается в весенний и осенний периоды, в некоторых регионах и осенне-зимний. Установлено, что с повышением плотности поголовья телят в станке зараженность их эймериями растет. Минимальная инвазированность телят при содержании в индивидуальных станках. Учитывая, что паразиты имеют сложную биологию развития, одним из важнейших мероприятий в комплексе мер, обеспечивающих предупреждение и ликвидацию заболеваний животных кокцидиозами, считается фармакотерапия и профилактика, способствующие не только освобождению животных от паразитов, но и предотвращению рассеивания инвазионного начала в окружающей среде и предупреждению угрозы нового заражения.

Ключевые слова: эймериоз, крупный рогатый скот, распространение, Российская Федерация, экстенсивность инвазии

ANALYSIS OF THE PARASITOLOGICAL SITUATION REGARDING EIMERIOSIS IN CATTLE IN THE RUSSIAN FEDERATION

V.N. Domatskiy, Grand PhD in Biological Sciences, Professor

E.I. Sivkova, PhD in Biological Sciences

*All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology –
Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia
E-mail: sivkovaei@mail.ru*

Abstract. The purpose of the study is to review the spread of bovine eimeriosis in the territory of the Russian Federation. Objectives of the study: to analyze the epizootic situation of bovine eimeriosis in the territory of the Russian Federation. Bovine coccidiosis is widespread in many regions of Russia and in other countries of the world. The pathogens are more than 10 species of eimeria, which have a specific localization in the body of animals, as well as morphological differences from each other. Three species (*E. zuernii*, *E. bovis* and *E. alabamensis*) are characterized by the highest pathogenicity and are most often associated with the clinical manifestation of the disease. Mostly young animals aged from 2 weeks to 1 year are ill, and adult animals have an asymptomatic form of invasion. In many animals, eimeria causes dangerous diseases, accompanied by a decrease in productivity, the birth of weak offspring, often the death of young animals, and additional feed costs per unit of production. In livestock complexes, the incidence of calves with eimeriosis is 10–100%, and mortality is 25–60%. The maximum infection of calves and adult animals is observed in the spring and autumn periods, and in some regions in the autumn-winter period. It was found that with an increase in the density of calves in the machine, their infection with eimeria increases significantly. The invasion of calves was minimal when kept in individual machines. Given that parasites have a complex developmental biology, one of the most important measures in the complex of measures ensuring the prevention and elimination of animal diseases with coccidiosis is currently still pharmacotherapy and prevention, contributing not only to the liberation of animals from parasites, but also to prevent the dispersion of the invasive origin in the environment and to prevent the threat of new infection.

Keywords: eimeriosis, cattle, distribution, Russian Federation, extent of invasion

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FWRZ-2021-0018 / The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FWRZ-2021-0018.

Повышение сохранности телят – одна из наиболее важных задач в современном животноводстве. Анализ ветеринарной статистики свидетельствует о том, что падеж среди телят мясного и молочного направления продуктивности по причине болезней органов пищеварения в среднем 23%. Заболевания приводят к серьезным экономическим потерям, которые могут быть краткосрочными (связанные с затратами на лечение и выбытием поголовья) и долгосрочными (обусловленные снижением приростов, увеличением возраста первого осеменения и выбраковки ремонтного молодняка).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании мы рассмотрели доступную научную литературу из различных источников (Российская научная электронная библиотека, Cyberleninka, PubMed, WoS, Scopus).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Один из важных резервов повышения продуктивности крупного рогатого скота и предотвращения экономического ущерба – выздоровление животных от заболеваний различной этиологии, в том числе и инвазионных. Эймерии вызывают опасные болезни, сопровождающиеся снижением продуктивности, рождением слабого приплода, нередко гибелью молодняка, дополнительными затратами корма на единицу продукции. Гибель животных от этой инвазии – 25...50%. Кокцидиозы крупного рогатого скота широко распространены в разных регионах России и других странах мира. [1, 2, 5, 8, 13, 19–22]

Болезни желудочно-кишечного тракта могут быть инфекционной, незаразной, а также инвазионной этиологии. Инвазионные заболевания у молодняка вызываются различными возбудителями, среди которых значительный вес занимают кокцидии (эймерии). По некоторым данным, на животноводческих комплексах заболеваемость телят эймериозом – 20...80%, смертность – 40...60%. Эймериоз крупного рогатого скота – остро, подостро или хронически протекающее заболевание преимущественно молодняка в возрасте от двух недель до года, взрослые животные болеют бессимптомно, ооцисты при этом присутствуют в фекалиях и считаются источником заражения для молодняка. Возбудители – более 10 видов эймерий, которые имеют специфическую локализацию, а также морфологические отличия друг от друга. *E. zuernii*, *E. bovis* и *E. alabamensis* характеризуются наиболее высокой патогенностью и чаще всего ассоциируются с клиническим проявлением заболевания. [9]

Эймериоз наносит огромный урон организму животного, особую опасность представляет для молодых телят, так как в большинстве случаев без лечения приводит к летальному исходу. Принято считать, что кокцидии поражают только кишечник, но интоксикация и желудочно-кишечный синдром приводят к тому, что в процесс течения болезни вовлекается весь организм животного. Желудочно-кишечный синдром всегда сопровождается диареей, эксикозом, спопорозным состоянием, токсикозом, лимфопенией, эозинопенией, гипопроотеинемией,

в основном из-за резкого уменьшения альбуминов, в особенности иммуноглобулинов, а также воспалением различной степени тяжести слизистой оболочки тонкого и толстого отделов кишечника. Воспаление слизистой кишечника всегда проявляется болевым синдромом, обусловленным спазмами и раздражением интерорецепторов. Вследствие изнуряющей диареей возникают полигиповитаминозы и алиментарная анемия, при диарейном синдроме с фекалиями теряется 17-19x10⁹ лейкоцитов и 3...5 г/л иммуноглобулинов, что обуславливает гипопроотеинемия. [7]

Заражение молодняка происходит через загрязненные ооцистами кокцидий корма, воду, оборудование и предметы ухода. Время начала диареей после инфицирования животного составляет для *E. bovis* и *E. zuernii* 16...23 дня, *E. alabamensis* – 3...4. При остром течении у животных отмечается угнетенное состояние, отказ от корма, повышение температуры тела до 40...41°C, каловые массы жидкие, со слизью и примесью крови. К концу второй недели диарея усиливается, встречается анемичность слизистых оболочек, истощение. Летальность – более 50%. При подостром течении болезнь имеет менее выраженные клинические признаки (снижение аппетита и массы тела, диарея, анемичность слизистых оболочек). Хроническое течение заболевания характерно для молодняка старшего возраста, а также взрослых животных. Наблюдается периодическая диарея. [9]

В настоящее время актуален вопрос определения сезонной и возрастной динамики эймериоза особенно при ассоциативном течении у крупного рогатого скота. Проводимые исследования по изучению сезонной динамики протозоозов показали, что пики зараженности животных в центральной зоне Удмуртской Республики отмечали в осенне-зимний период. Возрастная динамика в районах значительно отличалась в зависимости от вида возбудителя и возраста животных. Стационарно неблагополучный район по эймериозу – Завьяловский (зараженность – 96,3%). Максимальное количество ооцист отмечали у молодняка 8...12 месячного возраста. В Увинском районе наибольшее количество инвазированных животных у телят четырех-шестимесячного возраста. (73,3%) [6]

Во всех исследуемых хозяйствах выявили высокую экстенсивность инвазии – 77%, интенсивность – 2...485 экз. Установлено паразитирование эймерий трех видов: *Eimeria zuerni*, *E. bovis*, *E. Ellipsoidalis*. [14]

За период исследований недополучение живой массы телят, зараженных эймериями – 21,5 ± 2,6 кг. Резких колебаний по снижению среднесуточных привесов в данной группе не регистрировали: в среднем, 0,248 ± 0,113 кг относительно контрольной группы. [15]

Исследования, проведенные в 11 хозяйствах Краснодарского, Ставропольского краев и Ростовской области в 2016–2017 годах показали, что независимо от типа хозяйств животные были инвазированы эймериями. Средняя зараженность КРС по всем хозяйствам – 47,43% при обнаружении в 1 г фекалий 180,5 ± 8,3 экз. ооцист. Зараженность молодняка по хозяйствам колебалась от 0 до 100%, максимум в ЗАО «Урожайное» Ставропольского края – 362,3 ± 9,7 экз. ооцист в 1 г фекалий. В наи-

большей степени телята были заражены эймериями в возрасте трех-четырёх месяцев (ЭИ 70,73%) при обнаружении в 1 г фекалий $364,3 \pm 8,2$ экз. ооцист. Минимально оказались заражены взрослые животные (ЭИ 20,0%). Максимальной была зараженность животных весной и осенью – соответственно 53,49 и 61,81% при наличии $282,3 \pm 7,5$ и $324,6 \pm 8,3$ экз. ооцист в 1 г фекалий. Установлено, что с повышением плотности поголовья телят в станке зараженность их эймериями повышается. Минимальная инвазированность телят при содержании в индивидуальных станках. [16]

Изучена динамика зараженности крупного рогатого скота эймериозом в Кировской области с 2018 по 2020 год. Средний показатель экстенсивности эймериозной инвазии – 14,1%. Максимальное количество зараженных эймериозом животных зарегистрировано в 2018 с ЭИ – 23,79%, в 2020 – снизился на 8,02%. [17]

Исследование распространения эймериоза крупного рогатого скота в центральных и заречных районах интенсивного животноводства Якутии показывает, что экстенсивность инвазии у животных колеблется от 14,4 до 86,7%. Более высокая экстенсивность и интенсивность инвазии установлены у телят двух-трехмесячного возраста (86,7%) при интенсивности инвазии до 15 тыс. ооцист в 1 г фекалий, а у молодняка 1...1,5-летнего возраста – 70,4%. Видовой состав эймерий: *E. zuernii*, *E. smithi*, *E. bovis*, *E. canadensis*, *E. ellipsoidalis*, *E. cylindrica*. [4]

По данным анализа эпизоотической ситуации на территории учебно-опытного хозяйства МТФ № 3 «Кубань» по инвазионным болезням установлено, что распространение эймериоза составило 21%. Максимальная зараженность телят и взрослых животных за последние четыре года отмечается в весенний и осенний периоды, тогда как зимой и весной лишь 10...15%. Чаще заболевание диагностируется у телят в возрасте четырех-шести месяцев, тогда как крупный рогатый скот от года и старше подвержен заболеванию значительно меньше. [10]

В трех хозяйствах Тимашевского района Краснодарского края выявлены клинические признаки эймериоза телят в количестве 80 голов трех-четырёхмесячного возраста. Ооцисты эймерий обнаружили в фекалиях у 60 телят. Подтверждением при микроскопии на эймериоз послужило наличие кокцидий в поле зрения более 100 ооцист двух видов: *Eimeria smithi* и *Eimeria ellipsoidalis*. [1]

В Краснодарском крае за 2015–2017 годы чаще обнаруживали эймериозы у крупного рогатого скота (46,91%). [18]

В хозяйствах Ульяновской области установлено, что у телят в возрастных группах до трех месяцев экстенсивность инвазии достигает 56%, в старших – 100%. [12]

В Свердловской области изучено распространение кокцидиозов у разных половозрастных групп крупного рогатого скота на животноводческих предприятиях. Плановым исследованиям ежегодно подвергается не более 1,4% животных общего поголовья на территории области. Количество положительных проб от общего числа проведенных исследований составляет в среднем 3,7%, а в 2013,

2015, 2018 годах более 5%. Кокцидиями инвазированы младшие и старшие половозрастные группы. Наиболее распространен вид *Eimeria bovis*, экстенсивность инвазии – 16,7%. *Eimeria zuernii* регистрируется лишь в единичных случаях. [11]

Эймериозы встречаются во всех природно-географических зонах Алтайского края. Особо яркие клинические признаки у больших телят проявляются в апреле-июне, а у молодняка четырех-шестимесячного возраста в октябре-ноябре. Исследования, проведенные в агропромышленном комплексе «Правый берег», расположенном в Заринском районе Алтайского края показали, что клинические признаки инвазии были обнаружены у 17 телят, при этом их сильное проявление – у 11 гол. (64%), среднее – 4 (24%), слабое – 2 (12%). [3] Учитывая, что паразиты имеют сложную биологию развития, одним из важнейших мероприятий в комплексе мер, обеспечивающих предупреждение и ликвидацию заболеваний животных кокцидиозами, в настоящее время остается фармакотерапия и профилактика, способствующие не только освобождению животных от паразитов, но и предотвращению рассеивания инвазионного начала в окружающей среде и предупреждению угрозы нового заражения. При этом особое внимание необходимо уделять и профилактическим мероприятиям, направленным на предотвращение распространения инвазионного начала в окружающей среде для предупреждения угрозы нового заражения. Ключ к успешной реализации лечебно-профилактических мероприятий – постановка точного диагноза на основании анализа эпизоотической обстановки, клинических признаков, патологоанатомических изменений и результатов лабораторных исследований. [3, 9]

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артемова М.Д., Раджабов Р.Г. Диагностика и лечение эймериоза крупного рогатого скота. Современные научные исследования в АПК: актуальные вопросы, достижения и инновации: Мат. Всеросс. (национальной) научно-практической конф. в 3-х томах, пос. Персиановский, 22 декабря 2022 года. Т. II. п. Персиановский: ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 2022. С. 3–5. EDN: OGNTVP.
2. Бабаева Н.Н. Меры борьбы с эймериозом крупного рогатого скота. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 1. С. 144–146. EDN: ERYQHU.
3. Бассауэр Г.М., Гаськова Е.А. Лечение эймериоза телят в условиях агропромышленного комплекса ООО «Правый берег». Современные достижения ветеринарной науки и практики: Сб. мат. Межд. научно-практической конф., посвященной 60-летию юбилею факультета ветеринарной медицины Алтайского государственного аграрного университета, Барнаул, 16 декабря 2022 года. Барнаул: АГАУ. 2023. С. 147–151. EDN: CQYLOV.
4. Бочкарев И.И. Распространение эймериоза крупного рогатого скота в Центральной Якутии. Комплексные вопросы аграрной науки для АПК республики: сборник материалов внутривузовской научно-практической конференции, Якутск, 15 ноября 2019 года. Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2019. С. 15–17. EDN: RTCORN.

5. Жирнова В.А., Водяницкая С.Н. Эймериоз крупного рогатого скота, меры борьбы и профилактики на базе Головинской участковой ветеринарной лечебницы. Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Мат. Межд. научной конф., Майский, 14–15 марта 2023 года. Т. 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. С. 208–210. EDN: YNPLYX.
6. Климова Е.С., Мкртчян М.Э., Максимова Е.В., Решетникова А.Д. Сезонно-возрастная динамика эймериоза и криптоспориоза крупного рогатого скота // Международный вестник ветеринарии. 2020. № 3. С. 24–29. DOI: 10.17238/issn2072-2419.2020.3.24
7. Конобейский А.В., Сафиуллин Н.Т., Пьянов Б.В., Симонов Г.А. Клинический статус телят при эймериозе в условиях современного животноводческого комплекса // Эффективное животноводство. 2017. № 9 (139). С. 14–16. EDN: YOEFJI.
8. Люсин Е.А. Профилактика и лечение эймериоза крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2019. № 7–8. С. 22–23. EDN: QNNOMJ.
9. Люсин Е.А. Профилактика и лечение эймериоза крупного рогатого скота. // Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 4. С. 43–45. EDN: SDQLDF.
10. Меренкова Н.В., Родин И.А., Коляда А.К. и др. Диагностика эймериоза крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5–(194). С. 149–155. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-149-155.
11. Печура Е.В., Порываева А.П., Сажаев И.М., Куткина Н.А. Распространение кокцидиозов крупного рогатого скота в животноводческих предприятиях Свердловской области // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 83. С. 187–194. DOI: 10.21515/1999-1703-83-187-194.
12. Ракова Л.Ю., Фаткудинова Ю.В., Кармаева С.Г. Эймериозы крупного рогатого скота в условиях ферм // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной (всероссийской) науч. конф. с международным участием, Новосибирск, 28 февраля 2020 г. НГАУ. Т. 2. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. С. 604–606. EDN: YXIAHZ.
13. Решетникова А.Д., Климова Е.С. Анализ паразитарной ситуации по эймериозу крупного рогатого скота в Удмуртской Республике // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки. Мат. Нац. научно-практической конф. молодых ученых. В 3 томах, Ижевск, 4–5 декабря 2019 года. Т. I. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. С. 426–429. EDN: DEGGYX.
14. Решетникова А.Д., Климова Е.С., Крысенко Ю.Г. Эпизоотический мониторинг эймериоза молодняка крупного рогатого скота // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК. Мат. Межд. науч.-практ. конф., посвящ. году науки и технологии в России, Ижевск, 24–26 февраля 2021 года. Т. II. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 142–146. EDN: XVGJTD.
15. Решетникова А.Д., Климова Е.С. Влияние кишечных кокцидиозов на прирост массы тела молодняка крупного рогатого скота // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17 (1). С. 99–104. doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-1-99-104
16. Сафиуллин Н.Т. Распространение эймериоза у телят в условиях юга Европейской части России // Российский паразитологический журнал. 2018. Т. 12 (2). С. 33–37. doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-33-37.
17. Скорнякова О.О., Добрецова Ю.А., Шевина А.Р. Мониторинг зараженности крупного рогатого скота кокцидиозами желудочно-кишечного тракта в Кировской области // Наука и образование. 2021. Т. 4 (2). С. 245.
18. Черных О.Ю., Шевченко А.А., Шевченко Л.В., Дробин Ю.Д. Эпизоотическая ситуация по инвазионным заболеваниям в регионе Северного Кавказа. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 84. С. 261–265. DOI: 10.21515/1999-1703-84-261-265. EDN: DIDHPN.
19. Dong-Li Li, Qing-Long Gong, Gui-Yang Ge et al. Prevalence and infection risk factors of bovine Eimeria in China: a systematic review and meta-analysis. Parasite. 2021. Vol. 28. P. 61. DOI: 10.1051/parasite/2021055
20. Fitriane Ekawasti, Raden Wisnu Nurcahyo, Lintang Winantya Firdausy et al. Prevalence and risk factors associated with Eimeria species infection in cattle of different geographical regions of Indonesia. Vet World. 2021. Vol. 14 (9). P. 2339–2345.
21. Lídio Ricardo Bezerra Melo, Luana Carneiro Sousa, Brendo Andrade Lima et al. The diversity of Eimeria spp. in cattle in the Brazilian Semiarid region Rev. Bras. Parasitol. Vet. 2022. Vol. 31 (3). doi.org/10.1590/S1984-29612022037
22. Yazmin Alcalá-Canto, Juan Antonio Figueroa-Castillo, Froylan Ibarra-Velarde et al. First database of the spatial distribution of Eimeria species of cattle, sheep and goats in Mexico. Parasitology Research. 2020. Vol. 119. PP. 1057–1074.

REFERENCES

1. Artemova M.D., Radzhabov R.G. Diagnostika i lechenie ejmerioza krupnogo rogatogo skota. Sovremennye nauchnye issledovaniya v APK: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii: Мат. Vseross. (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konf. v 3-h tomah, pos. Persianovskij, 22 dekabrya 2022 goda. Т. II. – р. Persianovskij: FGBO UVO “Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet”, 2022. S. 3–5. EDN: OGNTVP.
2. Babaeva N.N. Mery bor'by s ejmeriozom krupnogo rogatogo skota. Vestnik molodezhnoj nauki Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 1. S. 144–146. EDN: ERYQHU.
3. Bassauer G.M., Gas'kova E.A. Lechenie ejmerioza telyat v usloviyah agropromyshlennogo kompleksa OOO “Pravyy bereg”. Sovremennye dostizheniya veterinarnoj nauki i praktiki: Sb. mat. Mezhd. nauchno-prakticheskoy konf., posvyashchennoj 60-letnemu yubileyu fakul'teta veterinarnoj mediciny Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Barnaul, 16 dekabrya 2022 goda. Barnaul: AGAU. 2023. S. 147–151. EDN: CQYLOV.
4. Bochkarev I.I. Rasprostranenie ejmerioza krupnogo rogatogo skota v Central'noj Yakutii. Kompleksnye voprosy agrarnoj nauki dlya APK respubliki: sbornik materialov vnutrivuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Yakutsk, 15 noyabrya 2019 goda. Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M.K. Ammosova, 2019. S. 15–17. EDN: RTCORH.
5. Zhirnova V.A., Vodyanickaya S.N. Ejmerioz krupnogo rogatogo skota, mery bor'by i profilaktiki na baze Golovinskoj uchastkovoj veterinarnoj lechebnicy. Gorinskie chteniya. Innovacionnye resheniya dlya APK: Мат. Mezhd. nauch-

- noj konf., Majskij, 14–15 marta 2023 goda. T. 2. Majskij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina, 2023. S. 208–210. EDN: YNPLYX.
6. Klimova E.S., Mkrtychyan M.E., Maksimova E.V., Reshetnikova A.D. Sezonno-vozrastnaya dinamika ejmerioza i kriptosporidioza krupnogo rogatogo skota // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2020. № 3. S. 24–29. doi: 10.17238/issn2072-2419.2020.3.24
 7. Konobejskij A.V., Safiullin N.T., P'yanov B.V., Simonov G.A. Klinicheskij status telyat pri ejmerioze v usloviyah sovremennogo zhivotnovodcheskogo kompleksa // Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2017. № 9(139). S. 14–16. EDN: YOEFJI.
 8. Lyusin E.A. Profilaktika i lechenie ejmerioza krupnogo rogatogo skota // Agrarnaya nauka. 2019. № 7–8. S. 22–23. EDN: QNNOMJ.
 9. Lyusin E.A. Profilaktika i lechenie ejmerioza krupnogo rogatogo skota. // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2019. № 4. S. 43–45. EDN: SDQLDF.
 10. Merenkova N.V., Rodin I.A., Kolyada A.K. i dr. Diagnostika ejmerioza krupnogo rogatogo skota // Vestnik KrasGAU. 2023. № 5 (194). S. 149–155. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-149-155.
 11. Pechura E.V., Poryvaeva A.P., Sazhaev I.M., Kutkina N.A. Rasprostranenie kokcidiozov krupnogo rogatogo skota v zhivotnovodcheskih predpriyatiyah Sverdlovskoj oblasti // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 83. S. 187–194. DOI: 10.21515/1999-1703-83-187-194.
 12. Rakova L.Yu., Fatkudinova Yu.V., Karmaeva S.G. Ejmeriozy krupnogo rogatogo skota v usloviyah ferm // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki: Sb. III nacional'noj (vserossijskoj) nauch. konf.s mezhdunarodnym uchastiem, Novosibirsk, 28 fevralya 2020 g. NGAU. T. 2. Novosibirsk: IC NGAU “Zolotoj kolos”, 2020. S. 604–606. EDN: YXIAHZ.
 13. Reshetnikova A.D., Klimova E.S. Analiz parazitarnoj situacii po ejmeriozu krupnogo rogatogo skota v Udmurtskoj Respublike // Integracionnye vzaimodejstviya molodyh uchenyh v razvitii agrarnoj nauki. Mat. Nac. nauchno-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh. V 3 tomah, Izhevsk, 4–5 dekabrya 2019 goda. T. I. Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya, 2020. S. 426–429. EDN: DEGGYX.
 14. Reshetnikova A.D., Klimova E.S., Krysenko Yu.G. Epizooticheskij monitoring ejmerioza molodnyaka krupnogo rogatogo skota // Tekhnologicheskie trendy ustojchivogo funkcionirovaniya i razvitiya APK. Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu nauki i tekhnologii v Rossii, Izhevsk, 24–26 fevralya 2021 goda. T. II. Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya, 2021. S. 142–146. EDN: XVGJTD.
 15. Reshetnikova A.D., Klimova E.S. Vliyanie kishechnyh kokcidiozov na prirost massy tela molodnyaka krupnogo rogatogo skota // Rossijskij parazitologicheskij zhurnal. 2023. T. 17 (1). S. 99–104. doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-1-99-104
 16. Safiullin N.T. Rasprostranenie ejmerioza u telyat v usloviyah yuga Evropejskoj chasti Rossii // Rossijskij parazitologicheskij zhurnal. 2018. T. 12 (2). S. 33–37. doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-33-37.
 17. Skorniyakova O.O., Dobrecova Yu.A., Shevina A.R. Monitoring zarazhennosti krupnogo rogatogo skota kokcidiozami zheludochno-kishechnogo trakta v Kirovskoj oblasti // Nauka i obrazovanie. 2021. T. 4 (2). S. 245.
 18. Chernyh O.Yu., Shevchenko A.A., Shevchenko L.V., Drobin Yu.D. Epizooticheskaya situaciya po invazionnym zabolevaniyam v regione Severnogo Kavkaza. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 84. S. 261–265. doi:10.21515/1999-1703-84-261-265. EDN: DIDHPN.
 19. Dong-Li Li, Qing-Long Gong, Gui-Yang Ge et al. Prevalence and infection risk factors of bovine Eimeria in China: a systematic review and meta-analysis. Parasite. 2021. Vol. 28. R. 61. DOI: 10.1051/parasite/2021055
 20. Fitriye Ekawasti, Raden Wisnu Nurcahyo, Lintang Winantya Firdausy et al. Prevalence and risk factors associated with Eimeria species infection in cattle of different geographical regions of Indonesia. Vet World. 2021. Vol. 14 (9). P. 2339–2345.
 21. Lídio Ricardo Bezerra Melo, Luana Carneiro Sousa, Brendo Andrade Lima et al. The diversity of Eimeria spp. in cattle in the Brazilian Semiarid region Rev. Bras. Parasitol. Vet. 2022. Vol. 31 (3). doi.org/10.1590/S1984-29612022037
 22. Yazmin Alcalá-Canto, Juan Antonio Figueroa-Castillo, Froylan Ibarra-Velarde et al. First database of the spatial distribution of Eimeria species of cattle, sheep and goats in Mexico. Parasitology Research. 2020. Vol. 119. PP. 1057–1074.

Поступила в редакцию 01.02.2024

Принята к публикации 15.02.2024

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ И ПАЗИТАРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАРТОФЕЛЯ*

Алексей Викторович Сибирёв, доктор технических наук, ORCID: 0000-0002-9442-2276
 Александр Геннадьевич Аксенов, доктор технических наук, ORCID: 0000-0002-9546-7695
 Владимир Сергеевич Тетерин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
 Николай Викторович Сазонов, кандидат технических наук
 Максим Александрович Мосяков, кандидат технических наук
 Максим Сергеевич Трунов, аспирант
 Мария Михайловна Годяева, аспирант
 ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия
 E-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы определения уровня биологических рисков возникновения, а также распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля по параметрам механизмов и путей передачи. Для большинства возбудителей характерны высокий (26,1%) и очень высокий (43,5%) уровни риска. Установлено, что в группе последних 75% инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля имеют микозную этиологию, 15 – гельминтозную, 10% – бактериальную. Возбудители инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля вирусной этиологии в данной группе отсутствуют. Средний балл по группе с очень высоким уровнем риска составляет 10,8. В группе с низким уровнем риска большинство возбудителей заболеваний картофеля имеет бактериальную этиологию (80%), средним – бактериальную (44,5%) и микозную (33,3%), высоким – вирусную (66,6%).

Ключевые слова: оценка, картофель, заболевание, инфекция, передача, возбудители

FORECASTING THE LEVEL OF BIOLOGICAL RISKS OF THE EMERGENCE AND SPREAD OF INFECTIOUS AND PARASITIC POTATO DISEASES

A.V. Sibirev, *Grand PhD in Engineering Sciences*
 A.G. Aksenov, *Grand PhD in Engineering Sciences*
 V.S. Teterin, *PhD in Engineering Sciences, Senior Researcher*
 N.V. Sazonov, *PhD in Engineering Sciences*
 M.A. Mosyakov, *PhD in Engineering Sciences*
 M.S. Trunov, *PhD Student*
 M.M. Godyaeva, *PhD Student*
 FGBNU “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Moscow, Russia
 E-mail: sibirev2011@yandex.ru

Abstract. The article discusses the issues of determining the level of occurrence biological risks, as well as the spread of infectious and parasitic diseases of potato according to the parameters of the transmission mechanisms and routes. Most pathogens are characterized by a high (26.1%) and very high (43.5%) level of risk. It has been established that in the latter group, 75% of infectious and parasitic diseases of potato have a mycotic etiology, 15 – helminthic, 10% – bacterial. There are no pathogens of infectious and parasitic potato diseases of viral etiology in this group. The average score for the very high risk group is 10.8. In the low-risk group the most of potato diseases pathogens have a bacterial etiology (80%), medium – bacterial (44.5%) and mycotic (33.3%), high – viral (66.6%).

Keywords: assessment, potato, disease, infection, transmission, pathogens

Длительность хранения корнеплодов зависит от сорта, системы защиты от вредителей и болезней, товарной обработки, сроков и способов уборки и подготовки к хранению. Основные причины потерь при хранении овощей связаны с процессами дыхания, испарения и микробиологической порчи. [1, 5, 14] Существует множество различных механизмов и путей передачи инфекционных

и паразитарных заболеваний картофеля (ИПЗК). Преобладание того или иного пути передачи зависит от этиологических, морфологических и физиологических особенностей возбудителя. Проведенный анализ литературных источников показал, что для инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля характерны три механизма и пять путей передачи (табл. 1, рис. 1). [2, 10, 12]

* Работа выполнена при государственной поддержке РФ конкурса 2023 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными № 23-76-10062 / The work was carried out with the state support of the Russian Science Foundation within the framework of the 2023 competition “Conducting research by scientific groups led by young scientists” of the Presidential Program of scientific projects implemented by leading scientists, including young scientists No. 23-76-10062.

Таблица 1.

Краткая характеристика факторов биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи

Фактор риска	Вызываемые заболевания у растений	Основные хозяева	Группа заболеваний	Механизм передачи	Пути передачи	Факторы передачи	Резервуар инфекции
<i>Clavibacter trichosporium</i> subsp. <i>Serepeticus</i> (Cms)	Кольцевая бактериальная гниль картофеля	Семейство Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)	Фитопатоген	Вертикальный, контактный	Биологический (через материнский клубень), контактно-раневой	Посадочный материал, растительные остатки, слизь, контаминированные возбудителем вода, почва и сельскохозяйственные орудия, предметы производственной обстановки, живые переносчики, волоски листьев (при загущенных посадках)	Посадочный материал
<i>Представители рода Pestobacterium</i> (<i>P. saratovatum</i> subsp. <i>saratovum</i> , <i>P. atrosepticum</i> , <i>P. saratovatum</i> subsp. <i>brasiliensis</i> , <i>P. wasabiae</i>)	Черная ножка, мягкая гниль клубней, мокрая гниль клубней	Семейство Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)	Фитопатоген	Вертикальный, контактный	Биологический (через материнский клубень), контактно-раневой	Посадочный материал, растительные остатки, слизь, контаминированные возбудителем вода, почва и сельскохозяйственные орудия, предметы производственной обстановки, живые переносчики	Посадочный материал
<i>Представители рода Dickeya</i> (<i>D. solani</i> , <i>D. dianthicola</i>)	Черная ножка, мягкая гниль клубней, мокрая гниль клубней, водянистая гниль стебля	Семейство Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)	Фитопатоген	Вертикальный, водный, контактный, трансмиссивный	Биологический (через материнский клубень), водный, контактно-раневой, контактный, инокуляция	Посадочный материал, растительные остатки, слизь, контаминированные возбудителем дождевая и поливная вода, почва и сельскохозяйственные орудия, предметы производственной обстановки, живые переносчики	Посадочный материал
<i>Clostridium perfringens</i>	Мокрая гниль клубней, при пищевом пути передачи у людей: некротический энтерит (С), ПТИ (А), у людей и животных: инфекционная энтеротоксемия (D), при раневом пути передачи вызывает газовую гангрену у людей и животных	Бактерии гниения, типичные обитатели почвы	Комплексное (сапроантропоноз, сапрозооноз, зооантропоноз, фитопатоген)	У растений: контактный, людей и животных: алиментарный, контактный	Для растений – раневой, людей и животных – фекально-оральный, раневой	Для растений – почва, растительные остатки, слизь, сельскохозяйственные орудия, для людей и животных – почва, навоз, фекалии и пища, контаминированная возбудителем	Почва
<i>Представители рода Bacillus</i> (<i>B. cereus</i> , <i>B. pumilus</i> (<i>B. mesentericus</i>), <i>B. megaterium</i> , <i>B. subtilis</i>)	Мокрая гниль клубней, при пищевом пути передачи у людей и животных: пищевые токсикоинфекции (ПТИ), бессимптомное носительство в ЖКТ (из-за стабильности спорных форм), при раневом пути передачи вызывает локальные инфекции (хирургическая, травматическая раневая, ожоговая и глазная инфекция, у животных – гнойные маститы), а также бактериемии и септициемии	Бактерии гниения, типичные обитатели почвы	Комплексное (сапроантропоноз, сапрозооноз, зооантропоноз, фитопатоген)	У растений: контактный, людей и животных: алиментарный, контактный	Для растений – раневой, для людей и животных – фекально-оральный, раневой	Для растений – почва, растительные остатки, слизь, сельскохозяйственные орудия, для людей и животных – почва, навоз, рвотные массы, фекалии и пища (картофельное пюре – 105 КОЕ/г, салаты с вареным картофелем – 2,0х107 КОЕ/г, овощной суп – 1,0х108 КОЕ /мг, 3.6х104 спор/мл), контаминированная возбудителем	Почва

Продолжение таблицы 1

Фактор риска	Вызываемые заболевания у растений	Основные хозяева	Группа заболевания	Механизм передачи	Пути передачи	Факторы передачи	Резервуар инфекции
Представители рода <i>Pseudomonas</i> (<i>P. aeruginosa</i>)	Мокрая гниль клубней, у людей и животных синегнойная инфекция при алиментарном пути передачи протекает как ППИ с симптоматикой гастроита, гастроэнтероколита энтероколита, гастроэнтероколита холецистита, в тяжелых случаях с кишечным кровотечением; при аспирационном пути — пневмония; при гематогенном (кровяном) пути — воспаление мочевыводящих путей, сепсис; при гематогенном и раневом путях — менингит, менингоэнцефалит (часто слетальным исходом), при раневом — язвенные поражения и омертвление кожи и мягких тканей, слизистой оболочки глаза, включая гнойный конъюнктивит). Может вызывать хроническую интоксикацию с периодами ремиссии и обострения.	В теплом и умеренном климате — вободноживущие обитатели почвы и поверхностных вод, в холодном климате основные хозяева — животные и человек	Комплексное (спроантропоз, сапрозооноз, зооантропоз, фитопатоген)	У растений: контактный, людей и животных: фекально-оральный, раневой, аспирационный, кровяной (трансфузионный)	Для растений — раневой, для людей и животных — фекально-оральный, раневой, аспирационный, кровяной (трансфузионный)	Для растений — почва, вода, растительные остатки, слизь, сельскохозяйственные орудия и предметы производственной обстановки, для людей и животных — почва, вода, продукты питания, медицинское оборудование и предметы обихода, контаминированные возбудителем, зараженные люди и животные. Возбудитель циркулирует в живой природе между людьми, животными, растениями, почвой и водой.	Возбудитель циркулирует в живой природе между людьми, животными, растениями, почвой и водой. В теплом климате — свободноживущие обитатели почвы и поверхностных вод, в холодном климате основные хозяева - животные и человек.
<i>Ralstonia solanacearum</i> (RS, на территории РФ распространён низкотемпературный штамм R2b3)	Бурая гниль картофеля (карантинный объект)	Семейство Пасленовые (<i>Solanaceae</i>), почва (в теплом климате)	Комплексное (фитопатоген, сапроноз)	Вертикальный, водный, контактный, трансмиссивный	Биологический (через материнский клубень), водный, контактно-раневой, контактный, инокуляция	Инфицированная почва, растительные остатки, клубни, несущие латентную инфекцию, сорняки, преимущественно из семейства пасленовых, ризосфера культурных и диких растений, поливные воды, может распространяться нематодой	Посадочный материал, почва
<i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> (Lso)	<i>Zebra Chip Disease</i> («тупосастьность чипсов», «Зебра чип») (карантинный объект)	Семейства: Пасленовые (<i>Solanaceae</i>), Вьюнковые (<i>Cornuliacae</i>), Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>) и Сельдеревые (<i>Apicaceae</i>)	Фитопатоген (облигатный паразит)	Трансмиссивный, вертикальный	Инокуляция (размножение, передача растительным орг-низмам (РО) от живых переносчиков), биологический (от зараженного материнского растения семенам и клубням, при этом не происходит передачи другим РО)	Живые переносчики (<i>Bacteriella solanaceae</i> исследуются: <i>T. aricalis</i> , <i>B. trigonisa</i> , <i>B. nigricornis</i> , <i>B. tremblayi</i>), зараженный посадочный материал (семенной материал может быть заражен Lso или содержать инфицированных переносчиков, чаще всего на стадии яиц)	Живые переносчики
Фитоплазмы класса <i>Mollicutes</i> (Фитоплазмы семейств <i>Acholeplasmataceae</i> : фитоплазма картофеля, <i>Musorlasmataceae</i> : фитоплазма пасленовых <i>PhLO</i> , фитоплазма желтухи астры <i>ToStI</i>)	Столбурное увядание (заболевание носит характер массовой эпифитотии)	Дикорастущие и сорные растения	Фитопатоген (биотрофный паразит)	Трансмиссивный	Инокуляция	Живые переносчики (цикады: <i>Hyalesthes mikosiewicz</i> , <i>Hyalesthesoboleus</i> , <i>Cicadella viridis</i> , <i>Aphrodes bicinctus</i> (клеверный афродес и другие)	Дикорастущие и сорные растения

Окончание таблицы 1

Фактор риска	Вызываемые заболевания у растений	Основные хозяева	Группа заболевания	Механизм передачи	Пути передачи	Факторы передачи	Резервуар инфекции
<i>Rotato witches' broom</i> <i>Phytoplasma</i> (класс <i>Mollicutes</i> , семейство <i>Acholeplasmata-</i> <i>taceae</i>)	Ведьмины метлы	Дикорастущие и сорные растения	Фитопатоген	Трансмиссивный, вертикальный	Инокуляция (цикады родов <i>Aceratagalla</i> и <i>Agallia</i> , чаще всего цикадой <i>Orphiala flavo-ricca</i>), биологический (зафиксированы случаи передачи от зараженного материнского растения клубням, может передаваться прививкой)	Живые переносчики (цикады родов <i>Aceratagalla</i> и <i>Agallia</i> , чаще всего цикадой <i>Orphiala flavoricta</i>)	Дикорастущие и сорные растения (повилика)
Фитоплазмы семейства <i>Acholeplasmataceae</i>	Круглолистность	Семейство Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)	Фитопатоген	Трансмиссивный, вертикальный	Инокуляция (цикады), биологический (зафиксированы случаи передачи от зараженного материнского растения клубням, может передаваться прививкой)	Живые переносчики (цикады)	Посадочный материал
Фитоплазмы, вызывающие пурпурное закручивание верхушки	Пурпурное закручивание верхушки	Дикорастущие и сорные растения	Фитопатоген	Трансмиссивный, вертикальный	Инокуляция (цикады), биологический (случаи передачи от зараженного материнского растения клубням, может передаваться прививкой)	Живые переносчики (основной переносчик – цикада <i>Orosius argentatus</i> , цикады родов <i>Macrostelus</i> и <i>Euscelia</i>)	Дикорастущие и сорные растения



Рис. 1. Механизмы и пути передачи факторов биологического риска возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля.

Цель работы - определить уровень биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля, установить закономерности их распространения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По результатам проведенного анализа выявили наличие некоторых закономерностей в отношении связи резервуара инфекции и преобладания тех или иных путей передачи возбудителей заболеваний картофеля (рис. 2, 3-я стр. обл.).

Структура диаграммы показывает, что для рассмотренных возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля основные резервуары инфекции – посадочный материал (40,4%) и почва (46,1%). Почва, как типичная среда обитания, характерна как резервуар инфекции для 11,5% возбудителей, зараженная спорами грибов – 5,8%, с зараженными растительными остатками – 28,8%. Живые переносчики, как источники инфекции, свойственны 7,7% рассмотренных возбудителей, дикорастущие и сорные растения – 5,8%.

Для инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля установлены пути передачи: биологический, контактно-раневой, контактно-покровный, инокулятивный и механический. [3, 4, 8]

Коэффициенты весомости преобладания того или иного пути передачи в процессе распространения возбудителей, соответствующие частоте случаев заражения данным способом, представлены в таблице 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценку уровня биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи проводили по формуле:

$$Y_{pp} = \sum (K_b \times K_{мп}), \tag{1}$$

где Y_{pp} – уровень риска передачи возбудителя; K_b – коэффициент весомости; $K_{мп}$ – показатель значимости механизмов и путей передачи по шкале оценки.

Таблица 2.

Количественные параметры оценки механизмов и путей передачи факторов биологического риска

Механизм и путь передачи	Параметр	Кмп, балл
Вертикальный механизм передачи		
Биологический	Передача возбудителя происходит через посадочный материал в виде клубней, корнеплодов, семян, считается прямым при передаче от материнского клубня к дочерним органотканевым способом (от маточного клубня через стебель и столоны в пуповинную часть растущего клубня). Передача возбудителя от зараженного материнского растения семенам и клубням (возможны случаи, при которых не происходит передачи другим растительным организмам). Возможна передача прививкой.	5
Контактный механизм передачи		
Контактно-раневой	Проникновение возбудителя происходит через поврежденные участки. Существенное значение имеют механические повреждения и повреждения, нанесенные нематодами, тлей и другими паразитами. Масштабные заражения могут происходить при распространении возбудителя с дождевой водой и ветром.	4
Контактно-покровный	Проникновение возбудителя может происходить через различные виды покровных тканей (в том числе эпидермис, чечевички, глазки и другие) при соприкосновении с пораженными растениями и растительными остатками, загрязненными сельскохозяйственными орудиями, тарой, транспортными средствами и другими бытовыми поверхностями. Масштабные заражения могут происходить при распространении возбудителя с дождевой водой и ветром.	3
Трансмиссивный механизм передачи (живые переносчики)		
Инокуляция	Прямой при заражении животных и людей укусами кровососущих насекомых, попадании в кровь (например, переливание крови), играет косвенную роль в дальнейшем распространении.	2
Механический	Живые переносчики переносят возбудитель механически на частях своего тела.	1

Таблица 3.

Распределение коэффициентов весомости при оценке значимости механизмов и путей передачи факторов биологического риска

Показатель преобладания	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Коэффициент весомости (Кв), балл	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1



Рис. 3. Распределение уровня биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи для возбудителей бактериальной этиологии.

На основании полученных значений каждый из возбудителей был отнесен к одной из пяти групп, соответствующей тому или иному уровню биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи, которые характеризовались по шкале: до 2 баллов – очень низкий уровень риска (ОНР); 2...4 – низкий (НР); 5...7 – средний (СР); 8...10 – высокий (ВР); более 10 баллов – очень высокий (ОВР).

Количественная оценка уровня биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи представлена ниже. [6, 11]

На основе полученных данных были построены графические зависимости распределения уровня биологического риска по параметрам механизмов и путей передачи для возбудителей различной этиологии (рис. 3.). [7, 9, 13]

Установлено, что для возбудителей ИПЗК бактериальной этиологии характерны низкий и средний (33,3%) уровни риска по параметрам механизмов и путей передачи, очень высокий (16,7%) встречается значительно реже. При этом средний уровень риска в основном находят у фитоплазм, высокий и очень высокий – у видоспецифичных фитопатогенов, вызывающих различные виды гнилей, в том числе у возбудителя бурой гнили картофеля (*Ralstonia solanacearium*, на территории нашей страны распространен низкотемпературный штамм R2b3), который считается карантинным объектом. Средний балл по группе составляет 6,8, что соответствует среднему уровню риска.

Выводы. По результатам анализа для большинства рассмотренных возбудителей характерны вы-

сокий (26,1%) и очень высокий (43,5%) уровни риска возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля. По параметрам механизмов и путей передачи ИПЗК для рассмотренных возбудителей бактериальной этиологии свойственны низкий и средний (33,3%) уровни риска, вирусной – высокий (72,7), микозной и гельминтозной – очень высокий (75 и 100% соответственно).

В этиологических группах возбудителей по параметрам механизмов и путей передачи выявлены закономерности по уровням риска. В группе с низким уровнем риска большинство возбудителей ИПЗК имеют бактериальную этиологию (80%), средним – бактериальную (44,5) и микозную (33,3), высоким – вирусную (66,6), очень высоким – микозную (75%).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. и др. Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 3. С. 85–92.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 28–40. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/66556>
3. Камалетдинов Р.Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование) // Известия Международной академии аграрного образования.

2012. Т. 1. № 14. С. 186–194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>.
4. Костенко М.Ю., Костенко Н.А. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 12. С. 4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13022951>.
 5. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации. Овощи России. 2023. № (5). С. 5–10.
 6. Попов В.Д., Валге А.М., Папушин Э.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства с использованием информационных технологий // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2009. № (81). С. 32–39.
 7. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 17 (2). С. 40–48.
 8. Рейнгарт Э.С., Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 10. С. 3–5. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
 9. Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Математическое моделирование как инструмент проектирования сельскохозяйственных машин и агрегатов (применительно к истории развития научной школы Южного Урала) // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 17 (2). С. 4–12.
 10. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, Development and Evaluation of an Online Potato Sorting System Using Machine Vision. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2013; 6: 396–402.
 11. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Synii S.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters // INMATEH-agricultural engineering. 2016. Vol. 49. № 2. PP. 53–60. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_3_2016/50-11-Abstract.pdf.
 12. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter // Transactions of the CSAM. 2016. Issue number 47 (5). P. 106–114.
 13. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield // Soil and Tillage Research. 1997. Issue number 40 (3–4). P. 25–144.
 14. Yanykin, D.V.; Pashkin, M.O.; Simakin, A.V. et al. Plant Photochemistry under Glass Coated with Upconversion Luminescent Film. Appl. Sci. 2022, 12, 7480.
 2. Izmajlov A.Yu., Lobachevskij Ya.P., Dorohov A.S. i dr. Sovremennyye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo hozyajstva – tendencii vystavki Agritechnika 2019 // Traktory i sel'hozmashiny. 2020. № 6. С. 28–40. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/66556>
 3. Kamaletdinov R.R. Ob'ektno-orientirovannoe imitacionnoe modelirovanie v srede teorii informacii (informacionnoe modelirovanie) // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2012. Т. 1. № 14. С. 186–194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>.
 4. Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. Veroyatnostnaya ocenka separiruyushchej sposobnosti elevatora kartofeleuborochnoj mashiny // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2009. № 12. С. 4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13022951>.
 5. Lobachevskij Ya.P., Dorohov A.S., Sibirev A.V. Sovremennoe sostoyanie tekhnologicheskogo obespecheniya proizvodstva ovoshchnyh kul'tur v Rossijskoj Federacii. Ovoshchi Rossii. 2023. № (5). С. 5–10.
 6. Popov V.D., Valge A.M., Papushin E.A. Povyshenie effektivnosti proizvodstva produkcii rastenievodstva s ispol'zovaniem informacionnyh tekhnologij // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2009. № (81). С. 32–39.
 7. Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Medvedev G.V. Razrabotka eksperimental'nogo fitotrona i ego primenenie v issledovaniyah po energoekologii svetokul'tury // Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2023. № 17 (2). С. 40–48.
 8. Rejngart E.S., Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Unificirovannyye kartofeleuborochnye mashiny novogo pokoleniya // Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny. 2006. № 10. С. 3–5. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
 9. Cencl Yu.S., Godlevskaya E.V. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument proektirovaniya sel'skohozyajstvennyh mashin i agregatov (primenitel'no k istorii razvitiya nauchnoj shkoly YUzhnogo Urala) / Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2023. № 17(2). С. 4–12.
 10. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, Development and Evaluation of an Online Potato Sorting System Using Machine Vision. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2013; 6: 396–402.
 11. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Synii S.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters // INMATEH-agricultural engineering. 2016. Vol. 49. № 2. PP. 53–60. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_3_2016/50-11-Abstract.pdf.
 12. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter // Transactions of the CSAM. 2016. Issue number 47 (5). P. 106–114.
 13. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield // Soil and Tillage Research. 1997. Issue number 40 (3–4). P. 25–144.
 14. Yanykin, D.V.; Pashkin, M.O.; Simakin, A.V. et al. Plant Photochemistry under Glass Coated with Upconversion Luminescent Film. Appl. Sci. 2022, 12, 7480.

REFERENCES

1. Dorohov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. i dr. Teoreticheskie predposylki intensivizatsii uborki luka-sevka // Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2023. № 3. С. 85–92.

*Поступила в редакцию 07.11.2023
Принята к публикации 21.11.2023*

При подготовке статей для журнала «Вестник российской сельскохозяйственной науки» мы рекомендуем руководствоваться следующими правилами:

- Направлять в редакцию материалы по эл. почте — vrnsn@vestnik-rsn.ru с решением Ученого совета института (учреждения) о возможности опубликования представленной НИР, рецензией ведущих ученых и результатом проверки материала в системе «Антиплагиат».
- Статья не должна **превышать 25 стр. компьютерного набора через два интервала (Word 2000)** с рисунками и таблицами. Необходимо указать ученые степени авторов, адрес института с индексом.
- Рисунки (графический материал) следует присылать по возможности в черно-белом цвете.
- Формулы, символы в текст необходимо вписывать четко, в электронном виде (редактор формул версия 3.01), избегайте громоздких обозначений.
- Желательно определить индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК).
- Необходим перевод на английский язык ученых степеней авторов, названия института, организации, адреса.
- Список источников (не более 20 наименований) помещайте в конце статьи по алфавиту на русском языке, сначала - отечественных, затем — зарубежных авторов, с соответствующими ссылками в тексте (образец списка источников в приложении). Необходимы ссылки на журналы, входящие в базу данных Scopus и Web of Science.
- Цитируемость на свои работы — не более 15%, приветствуется наличие иностранных источников.
- К статье напишите реферат объемом 200–250 слов на русском и английском языках.
- **Обязательное наличие ключевых слов на русском и английском языках.** В случае описания региональных специфик, регион должен тоже быть ключевым словом.
- **Публикация платная, цена договорная.** Оплата возможна по договору с юридическим или физическим лицом.
- **Просьба указывать в контактах почтовый и электронный адреса, телефоны.**

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.

Оформление списка источников

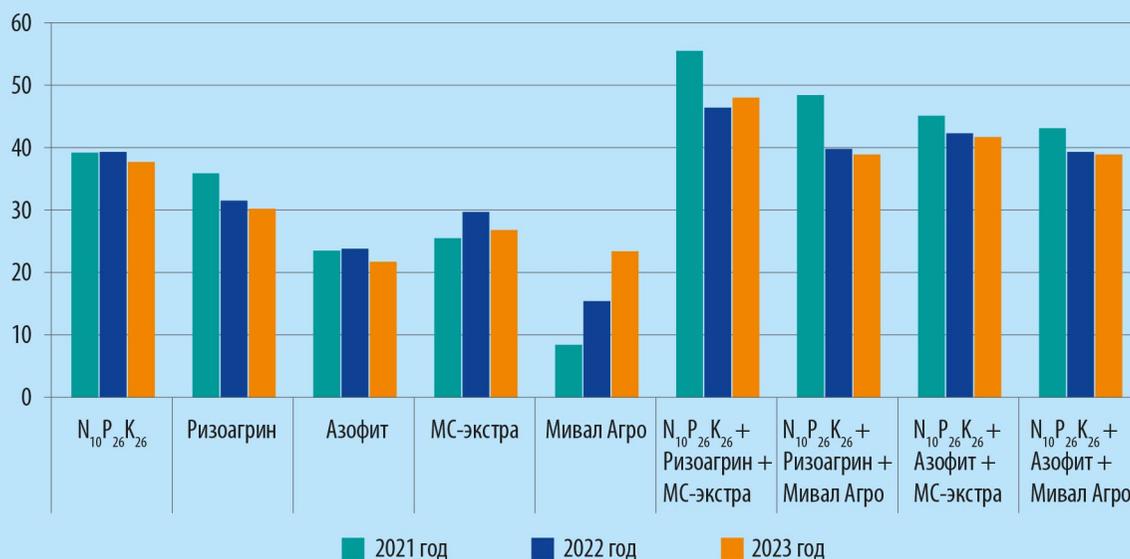
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев А.М., Кравченко Л.В., Наумова Л.Г., Ганич В.А. Донские аборигенные сорта винограда. 2-е изд., перераб. и доп. Новочеркасск, 2013. 132 с. ISBN: 978-5-85633-033-4.
2. Дзюбенко Н.И. Генетические ресурсы культурных растений — основа продовольственной и экологической безопасности России // Вестник Российской академии наук. 2015. №85(1). С. 3–8. doi: 10.7868/S0869587315010041
3. Романишин П.Е., Попандопуло В.Г., Якименко Е.Н. и др. Технологическая направленность донских аборигенных сортов винограда в условиях Кубани. Мат. Межд. конф. Повышение конкурентоспособности продукции виноградарства и виноделия на основе создания новых сортов и технологий. Новочеркасск, 2012. С.187-190.
4. Labagnara T., Bergamini C., Caputo A.R., Cirigliano P. Vitis vinifera L. germplasm diversity: a genetic and ampelometric study in ancient vineyards in the South of Basilicata region (Italy) // Vitis. Journal of Grapevine Research. 2018. Vol. 57. No.1. PP. 1-8. doi:10.5073/vitis.2018.57.1-8

REFERENCES

1. Aliev A.M., Kravchenko L.V., Naumova L.G., Ganich V.A. Donskie aborigennyye sorta vinograda. 2-e izd., pererab. i dop. Novochoerkassk, 2013. 132 s. ISBN: 978-5-85633-033-4.
2. Dzyubenko N.I. Geneticheskie resursy kul'turnykh rastenij — osnova prodovol'stvennoj i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2015. №85(1). S. 3–8. doi: 10.7868/S0869587315010041.
3. Romanishin P.E., Popandopulo V.G., Yakimenko E.N. i dr. Tekhnologicheskaya napravlenost' donskih aborigennykh sortov vinograda v usloviyah Kubani. Mat. Mezhdun. konf. Povyschenie konkurentosposobnosti produkcii vinogradarstva i vinodeliya na osnove sozdaniya novykh sortov i tekhnologij. Novochoerkassk. 2012. S.187-190.
4. Labagnara T., Bergamini C., Caputo A.R., Cirigliano P. Vitis vinifera L. germplasm diversity: a genetic and ampelometric study in ancient vineyards in the South of Basilicata region (Italy) // Vitis. Journal of Grapevine Research. 2018. Vol. 57. No.1. PP. 1-8. doi:10.5073/vitis.2018.57.1-8

Диаграмма к статье Ханиевой И.М. и др. «Совершенствование технологии возделывания проса в Кабардино-Балкарской Республике» (стр. 26)



Прибавка урожая проса сорта *Кавказские зори* под влиянием минерального удобрения, бактериальных препаратов и стимуляторов роста.

Фотографии к статье Синеговской В.Т. и др. «Использование физиологических методов в создании сортов сои» (стр. 30)

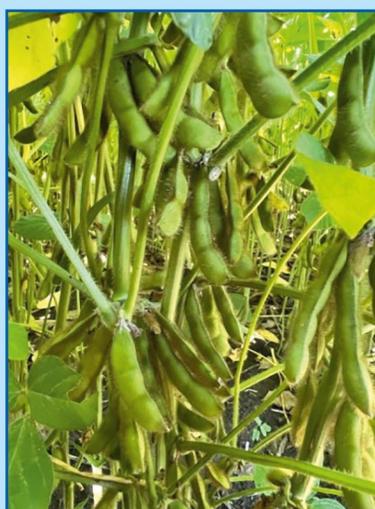


Рис. 4. Сорт сои *Лучистая*: растение, бобы, семена.

Рисунок к статье Сибирёва А.В. и др. «Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля» (стр. 89)



Рис. 2. Структура долевого распределения основных резервуаров инфекции, характерных для возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля.

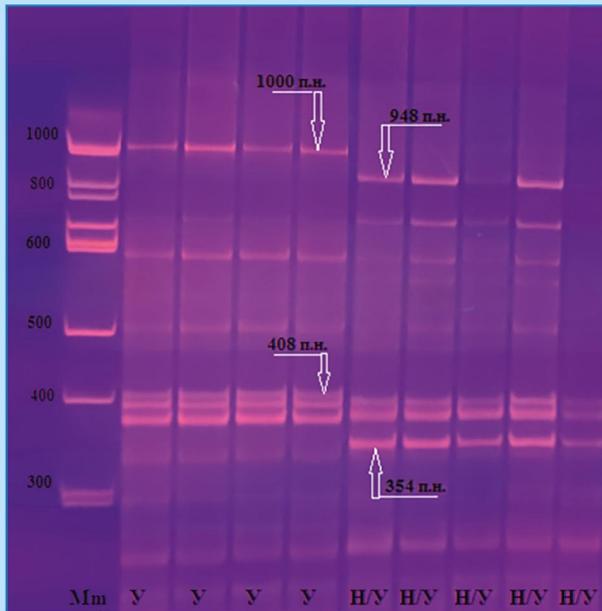


Рис. 1. Визуализация продуктов ПЦР по локусу RBCESSRJU13 в 8%-ом ПААГ. Mm – маркер молекулярной массы; Y – изогенная устойчивая линия 42; H/Y – изогенная неустойчивая линия 32 (то же на рис. 2,3).

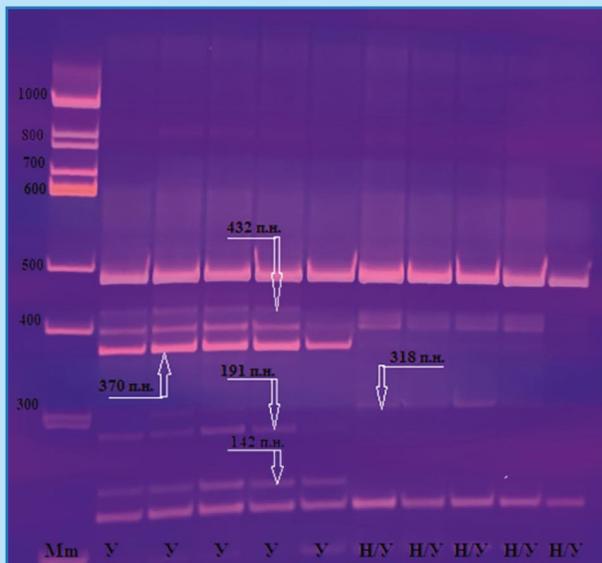


Рис. 2. Визуализация продуктов ПЦР по локусу RBCESSRJU6 в 8%-ом ПААГ.

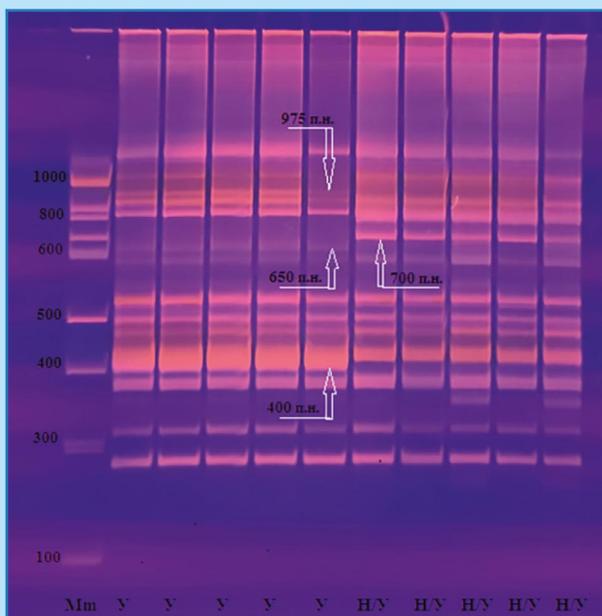


Рис. 3. Визуализация продуктов ПЦР по локусу NI-F02a в 8%-ом ПААГ.